4082229
410 2339

Tecnología de los metales

para profesiones técnico-mecánicas

Hans Appold, Kurt Feiler, Alfred Reinhard, Paul Schmidt

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.
Barcelona - Bogotá - Buenos Aires - Caracas - México

Edición especial para la
SOCIEDAD ALEMANA DE COOPERACIÓN TÉCNICA (GTZ)
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
(GTZ) GmbH, Eschborn (República Federal de Alemania)

Prólogo

Las exigencias económicas y la continua evolución de las estructuras requieren no sólo una buena formación frente a la situación actual, sino que se espera que el profesional cualificado esté a la altura de las necesidades técnicas continuamente cambiantes. Por esta razón se han vuelto a incluir en todos los planes de estudios modernos los fundamentos físicos de los procedimientos técnico-mecánicos y las funciones de los equipos que intervienen.

Este libro está destinado a la asignatura de Tecnología de los Metales de los tres años de la Escuela Profesional, en particular para las profesiones de fabricación y mecanización con arranque de viruta. La subdivisión del libro tiene en cuenta tanto los imperativos específicos profesionales como la distribución usual de las materias que se estudian. Nos parece muy importante hacer hincapié en que los campos especializados cerrados en sí mismos, como por ejemplo el torneado, forman aquí un apartado temático aparte en el que la subdivión en niveles básico y superior se deja al criterio del profesor. Para la enseñanza de la Matemática Técnica y del Dibujo Técnico se desarrollaron en su día tomos paralelos publicados por la misma editorial, por lo que con estos tres tomos queda cubierta toda la teoría de la especialidad.

El libro aparece ahora como edición revisada y ampliada, atendiendo a los planes de estudios puestos en práctica en los últimos años en muchos estados federales, los cuales comprenden los objetivos y el contenido del plan general de estudios del Ministerio de Cultura, pero con una subdivisión diferente. También han influido los avances de la industria, reflejados también en las normas. La subdivisión de los procedimientos de fabricación según DIN sirvió de base para estructurar el apartado de la «Técnica de la Fabricación», adaptando también a los nuevos conocimientos la normalización de los materiales metálicos. Los procedimientos ya en desuso se citan únicamente porque reflejan el desarrollo de la técnica.

Los temas docentes científicos deben estar presentes en toda la enseñanza tecnológica. Este principio queda satisfecho al asignar a cada campo tecnológico parcial el correspondiente fenómeno científico.

La Electrotecnia se trata como un campo aparte, con el fin de asegurar la lógica relacionada y la sistemática docente.

La elección de la materia y la estructuración de cada capítulo obedecen a una enseñanza orientada con objetivos didácticos. Las unidades docentes relativamente pequeñas permiten al profesor fijar sus puntos clave de acuerdo con cada situación de la enseñanza, así como elegir los temas. El gran número de ejercicios permite al educando efectuar un repaso que asegura un aprendizaje en profundidad.

Los autores y la editorial esperan proporcionar al alumno los conocimientos tecnológicos que le capaciten para incorporarse a los nuevos avances técnicos, así como a dominar de forma rápida y segura las exigencias laborales del futuro.

Los autores

Índice analítico

1 Verificación de longitudes 1

1.1 Fundamentos 1

1.1.1 Magnitudes, unidades, símbolos 1
Magnitudes físicas y unidades 1
Múltiplos y submúltiplos de las unidades 2
Definiciones de las unidades fundamentales 2
Unidades de longitud 3
1.1.2 Resumen de los medios de verificación 3
Instrumentos de medición y calibres 3
1.1.3 Actividades de verificación 4
Diferencia entre medición y calibrado 4
Proceso de medición 4
Proceso de calibrado 5
1.1.4 Conceptos de metrología 5
Elementos característicos de los instrumentos de medición 5
Procedimientos de medición directos 5
Inseguridad de la medición 6
1.1.5 Errores de medición 6
Los errores apreciables hacen incorrecto el resultado de la medición 6
Los errores accidentales hacen inseguro el resultado de la medición 7

1.2 Medios para la verificación de longitudes 8

1.2.1 Verificación con elementos de medición 8
Medición de longitudes con la regla graduada ... 8
Medición directa con el compás 8
Medición de longitudes con galgas 9
1.2.2 Verificación con instrumentos indicadores 10
Medición de longitudes con el pie de rey 10
Medición de longitudes con el tornillo micrométrico 11
Medición de longitudes con comparadores ... 12
Diferencias admitidas para las cotas sin indicación de tolerancia 13
1.2.3 Verificación con comparadores de precisión ... 13
Empleo de comparadores de precisión 13
Comparador de precisión con multiplicador por palanca 14
Comparador de precisión con multiplicación por palanca y rueda dentada combinadas 14
Comparador de precisión con multiplicación por fleje tensor 15
Comparador de precisión con palpador mecánico y amplificación óptica 15
Comparador de precisión con contactos limitadores eléctricos 15
1.2.4 Verificación con instrumentos neumáticos 16
Procedimientos de medición automáticos 16
Modelos de instrumentos de medición neumáticos 16
1.2.5 Verificación con instrumentos de medición electrónicos 17
Principio de la medición inductiva de longitudes 17
Indicación analógica y digital 17
Medición única, medición suma, medición diferencia 18
1.2.6 Verificación de calibres 18
Calibres de forma y calibres de cotas 18
Calibres de tolerancias 18

1.3 Medios de verificación de ángulos 19

1.3.1 Verificación con calibres de ángulos fijos 19
Escuadras fijas (de ángulo fijo) 20
Galgas angulares 20
1.3.2 Verificación con instrumentos de medición de ángulos 20
Transportadores indicadores 20
Medición de ángulos agudos y ángulos obtusos 21
Nivel para ángulos 21
Transportadores de ángulos graduables 22

1.4 Trazado de piezas 22

1.4.1 Instrumentos de trazar 22
Proceso de trazado 23
Ejercicio de trazado 24
Ejercicios 26

2 Materiales 29

2.1 Propiedades de los materiales 29

2.1.1 Propiedades físicas 29
Cuerpos y sus estados de agregación 29
Dilatación por el calor 30
Temperatura de fusión — Temperatura de solidificación 30
Temperatura de ebullición — Temperatura de condensación 31
Masa, peso, densidad 31
2.1.2 Propiedades tecnológicas y mecánicas 32
Propiedades tecnológicas 32
Propiedades mecánicas 33
2.1.3 Propiedades químicas 33
Procesos químicos y físicos 33
Representación de la estructura de los átomos ... 34
Elementos 34
Sistema periódico de los elementos 35
Subdivisión de los elementos 35
Mezclas y combinaciones químicas 36
Estructura de las combinaciones de átomos ... 36
Tendencia de los átomos a enlazarse 37
Enlace iónico 37

Enlace atómico (enlace de pares de electrones) 38
Enlace metálico 38
Combinaciones con el oxígeno 39
Valencia de los elementos 39

Ejercicios 40

2.2 Textura de los materiales metálicos 41
2.2.1 Características comunes 41
Estructura cristalina de los metales 41
2.2.2 Textura de deformación 42
Fuerzas activas entre partículas de substancias 42
Deformación elástica y plástica 42
2.2.3 Estructura de las aleaciones 43
Estructura de un metal de una sola substancia y de una aleación 43
Metal de una sola substancia 43
Aleaciones 43
Dureza y resistencia de una aleación 44

2.3 Materiales férreos 44
2.3.1 Combinaciones en el mineral de hierro 44
Rocas con contenido de hierro 44
2.3.2 Obtención del hierro bruto 45
Reducción de los óxidos metálicos 45
Reducción de los óxidos de hierro 46
2.3.3 Hierro bruto, acero, fundición 46
Del hierro bruto al acero y la fundición 46
2.3.4 Diversas calidades de aceros 48
Aceros no aleados y aleados 48
Los componentes de una aleación modifican las propiedades 49
2.3.5 Procedimientos de obtención de acero 49
Procedimientos de afino 49
Procedimientos de inyección de oxígeno 50
Procedimiento Siemens-Martin 50
Procedimiento eléctrico 50
Procedimiento de refundición 51
2.3.6 Colada de acero 51
Tratamiento al vacío 51
Acero colado sin calmar 52
Acero colado calmado 52
Procedimientos de colada 52
2.3.7 Materiales colados 53
Hierro fundido 53
Fundición maleable 53
Acero moldeado 54

Ejercicios 54

2.4 Materiales metálicos no férreos 55
2.4.1 Metales ligeros 55
Aluminio, símbolo Al 55
Aleaciones de aluminio 56
Magnesio, símbolo Mg 57
Aleaciones de magnesio 57
Titanio, símbolo Ti 58
2.4.2 Metales pesados 58
Cobre, símbolo Cu (cuprum) 58
Aleaciones de cobre 59
Cinc, símbolo Zn 60
Aleaciones de cinc 61
Estaño, símbolo Sn (stannum) 61
Aleaciones de estaño 62
Plomo, símbolo Pb (plumbum) 62
Aleaciones de plomo 63

2.5 Materiales sinterizados 63
2.5.1 Conceptos fundamentales 63
Fabricación y propiedades 63
2.5.2 Aplicaciones 65
Materiales sinterizados de importancia en la industria 65

Ejercicios 66

2.6 Normalización de los materiales metálicos 67
2.6.1 Designación del acero 67
Subdivisión de los tipos de acero 67
Designación de los tipos de acero 68
Designación de los aceros no aleados 68
Designación de los aceros aleados 69
Codificación de las designaciones normalizadas del acero 69
Designación de los aceros mediante números de material 72
2.6.2 Diferentes clases de acero 72
Aceros de construcción básicos y de calidad 72
Aceros de calidad y aceros finos 73
Aceros inoxidables 75
Aceros para herramientas 75
Designaciones para bandas y chapas 75
2.6.3 Formas comerciales de los aceros 76
Normalización de los productos planos de acero 76
2.6.4 Materiales fundidos/metales no férreos 77
Designación de los metales colables 77
Designación de los metales no férreos 78

Ejercicios 80

2.7 Corrosión de los materiales metálicos 81
2.7.1 Causas de la corrosión 81
Influencias químicas sobre los metales 81
2.7.2 Clases de corrosión 84
Influencias electroquímicas sobre los metales 84
2.7.3 Protección contra la corrosión 85
Recubrimientos no metálicos 85
Recubrimientos metálicos 85
Recubrimientos químicos 86
Protección catódica contra la corrosión 86

2.8 Plásticos 87
2.8.1 Fundamentos 87
Subdivisión y propiedades 87
Composición química 87
2.8.2 Subdivisión tecnológica 88
Diversas propiedades de los termoestables y termoplásticos 88
2.8.3 Fabricación de piezas 89
Elaboración de plásticos termoestables 89
Elaboración de termoplásticos 90
2.8.4 Termoplásticos 90
Plásticos importantes 90
Comportamiento de los termoplásticos sometidos a calentamiento 91
2.8.5 Conformación y pegado 92
Conformación de los plásticos 92
Pegado de los plásticos 93
2.8.6 Materiales combinados 93
Plásticos reforzados con fibra de vidrio 93

Ejercicios 94

2.8.7 Resumen sobre los plásticos 95

2.9 Ensayo de materiales 96

2.9.1 Procedimientos mecanicotecnológicos 96
Ensayos en el taller 96
Ensayo de resistencia a la tracción (DIN 50145) 97
Ensayo de resiliencia por flexión (DIN 50115) 98
Ensayo de dureza 99
Ensayo de la chispa de esmerilado 100
2.9.2 Otros procedimientos 104
Procedimiento de ensayo metalográfico 104
Procedimientos de ensayo no destructivos 105
Aplicaciones de diversos procedimientos de ensayo de dureza 105

Ejercicios 106

3 Técnica de la fabricación 107

3.1 Procedimiento de fabricación 107

3.1.1 Subdivisión 107
Formación de brutos, conformación, corte, unión, recubrimiento, modificación de las propiedades de los materiales 107
3.1.2 Fundamentos físicos 108
Composición y descomposición de fuerzas 113
Rozamiento y fuerza de rozamiento 114
Momento torsor, ley de la palanca, par de fuerzas 115
Trabajo y energía 116
Potencia y mecánica 117
Rendimiento 118
Plano inclinado 118
Presión (presión superficial) y tensión 119

Ejercicios 120

3.2 Formación de brutos 121

3.2.1 Procesos físicos 121
Fundamentos de termodinámica 121
Medición de cantidad de calor 123
Propagación del calor 123
Dilatación por el calor 123
Comportamiento de los materiales líquidos ... 124
3.2.2 Formación de brutos mediante fundición 126
Fundición con moldes perdidos 126
Fundición con modelos perdidos 128
Fundición en moldes permanentes 128
Proceso de fundición 129
Defectos en la fundición 130

Ejercicios 130

3.3 Conformación 131

3.3.1 Conformación por fuerzas de tracción y compresión 131
Conformación por compresión con rodillos 131
Conformación sin estampa (forja) 131
Conformación por compresión en estampa 133
Conformación por extrusión 134
Conformación por estirado de deslizamiento y embutición profunda 135
3.3.2 Conformación por momento flector 136
Procesos en el plegado 136
Procedimientos de conformación por plegado ... 137
Procesos de conformación por aplanado y enderezado 139
Máquinas de conformar 141

Ejercicios 142

3.4 Separación por seccionado 143

3.4.1 La cuña como filo de herramienta 143
Fundamentos de la separación de materiales 143
Descomposición de fuerzas en la cuña de corte 144
3.4.2 Corte con cuña 144
Proceso de corte con cuña 144
Herramientas de corte con cuña 145
3.4.3 Cizallado 145
Corte con cizalla 145
Acción de la palanca y fuerza de corte 146
El trabajo con la tijera manual para chapa (tijera de hojalatero) 147
Cizallas 147
Defectos en el trabajo de cizallado 148
3.4.4 El corte de forma 148
Herramientas de corte 148

3.5 Separación por arranque de viruta a mano ... 150

3.5.1 Forma de actuación de la cuña de corte 150
Forma de la cuña y trabajo de arranque de viruta 150
Efecto del ángulo de ataque positivo o negativo 151
3.5.2 Cincelado 151
Herramientas de cincelado 151
El martillo como herramienta de percusión 151
Trabajos de cincelado 152
3.5.3 Aserrado 152
Formación de viruta en el aserrado 152
Aserrado manual de metales 153
Sierras mecánicas para metales 153
3.5.4 Limado 154
El trabajo con la lima 156
Sujeción de las piezas 157
3.5.5 Rasqueteado 157
Rasqueteado y marmoleado 157
3.5.6 Escariado 158
Proceso de escariado 158
Escariadores 159
3.5.7 Tallado de roscas 159
Forma de las roscas 159
Perfiles de las roscas 160
Tallado de roscas interiores 161
Tallado de roscas exteriores 162

Ejercicios 162

Separación por seccionado 162

3.6 Corte por arranque de viruta con máquina ... 163

3.6.1 Procesos de arranque de viruta 163
Subdivisión de las máquinas 163
Procesos de arranque de viruta en máquinas-herramienta 164
Estructura y movimientos de trabajo de las máquinas-herramienta 165
Geometría del corte 166
Tamaño de los ángulos en las cuchillas de torno 167
Sección de la viruta 168
Formación de la viruta 168
3.6.2 Torneado 169
Estructura de los tornos 169
Instalación y mantenimiento 172

Herramientas de tornear 173
Materiales de corte 175
Sujeción de las herramientas de tornear 176
Sujeción de las piezas 178
Velocidad de corte y número de revoluciones 180
Trabajos de torneado 182
Ejemplo de trabajo 183
Torneado cónico 185
Torneado de roscas 186
Ejemplo de trabajo 187

Ejercicios 189

3.6.3 Fresado 190
Formación de viruta 190
Fresas y valores de mecanizado 191
Construcción de las fresadoras 193
Sujeción de la herramienta y de la pieza a mecanizar 195
Procedimientos de división 196
Afilado de las fresas 199
Ejemplo de trabajo 200
3.6.4 Taladrado, avellanado, escariado 202
Procedimientos de trabajo 202
Herramientas para taladrar 202
Proceso de arranque de viruta 204
Economía al taladrar 205
Trabajos de taladrado 206
Avellanado 207
Escariado 207
Taladradoras 208
Taladradora de coordenadas 208
Mandrinadora fresadora horizontal 209
Ejemplo de trabajo 210
Proceso de trabajo y herramientas 212
Estructura de las cepilladoras 213
Estructura de las mortajadoras 215
Forma de actuación de la mortajadora horizontal 216
Sujeción de las piezas 217
Ejemplo de trabajo 217
3.6.6 Brochado 219
Herramientas, formación de virutas, valores de trabajo 219
Brochadoras 220

Ejercicios 221

3.6.7 Rectificado 222
Arranque de viruta con filo indeterminado geométricamente 222
Sujeción del cuerpo rectificador 224
Rectificadoras 226
Ejemplo de trabajo 229
Bruñido 230
3.6.8 Superacabado y lapeado 231
Lapeado 231
3.6.9 Lubricación refrigerante 232

3.7 Separación por erosión 234

3.7.1 Erosión térmica 234
Erosión térmica por gas 234
Erosión térmica por chispa eléctrica (electroerosión) 235
3.7.2 Erosión electroquímica 237

Ejercicios 238

3.8 Unión por apriete y por introducción a presión 238

3.8.1 Procedimientos de unión 238
Subdivisión según los procedimientos de fabricación 239
Subdivisión según la desmontabilidad 239
Subdivisión según el tipo de cierre 239
3.8.2 Uniones por tornillos 240
Fuerzas activas 240
Autobloqueo de las roscas 241
Desgaste y profundidad de carga 241
Fabricación de roscas con máquina 242
Dimensiones y tolerancia de las roscas 242
Verificación de las roscas 244
Designación de los tornillos 245
Designación de tuercas 246
Resistencia de los tornillos y tuercas 246
Uniones por tornillos con cuello de dilatación ... 247
Solicitaciones transversales de las uniones atornilladas 248
Seguros para tornillos 248
Impermeabilización de las uniones roscadas 249

Ejercicios 250

3.8.3 Uniones con pasadores 252
Pasadores cilíndricos 252
Pasadores cónicos 252
Pasadores estriados 252
Pasadores de tensión (casquillos de tensión) 252
3.8.4 Uniones enchavetadas 253
Fuerzas en las uniones enchavetadas 253
Tipos de chavetas 253
3.8.5 Uniones a presión 254
Uniones a presión con asiento cónico 254
Uniones a presión por contracción y dilatación 254

3.9 Unión por composición 255

3.9.1 Uniones con bulones 255
Formas de los bulones 255
Material de los bulones 255
Montaje de los bulones 255
Seguro de los bulones contra desplazamiento axial 255
3.9.2 Uniones por encaje (inserción) 256
Uniones con chavetas de guía (chavetas paralelas) 256
Uniones con lengüetas 256
Uniones con ejes perfilados 256
Fabricación de chaveteros 257
Verificación de chaveteros 257

Ejercicios 258

3.10 Unión por conformación 259

3.10.1 Uniones remachadas 259
Fundamentos 259
Fabricación de uniones remachadas 259
Solicitaciones de las uniones remachadas 260
Materiales para los remaches 260
Tipos de uniones remachadas 260
Remaches especiales 260
Defectos en el remachado 261
3.10.2 Uniones de chapas 261

3.11 Unión con pegamentos (adhesivos) 262

3.11.1 Uniones pegadas 262
Aplicación del pegado 262
Forma de actuación del pegamento 263
Superficies y adherencia 263
Tipos de pegamento 263

Forma de las uniones pegadas 264
Modo de hacer y deshacer una unión pegada 264

3.12 Unión por soldadura blanda y fuerte 265

3.12.1 Fundamentos 265
Proceso de la soldadura blanda y fuerte 265
Condiciones para una buena soldadura blanda y fuerte 266
3.12.2 Materiales para soldadura blanda y fuerte 266
Fundentes 266
Metales de aportación para soldadura blanda y fuerte 267
3.12.3 Procedimientos de soldadura 267
Subdivisión de los procedimientos de soldadura 268
Trabajos de soldadura blanda y fuerte 268

3.13 Unión por soldadura 270

3.13.1 Fundamentos 270
Subdivisión de los métodos de soldadura 270
Transformación del material 271
3.13.2 Soldadura por fusión 272
Soldadura por fusión a gas (soldadura a gas) 272
Soldadura por fusión con arcos (soldadura de arco voltaico) 275
3.13.3 Soldadura a presión 279
Soldadura por resistencia 280
3.13.4 Soldadura de plásticos 281
Soldadura por elementos calefactores 281
Soldadura por gas caliente 281
Soldadura por ultrasonidos 281
Soldadura por fricción 281
Soldadura por alta frecuencia 281
3.13.5 Prevención de accidentes 282
Precauciones en la soldadura por fusión a gas.... 282
Precauciones en la soldadura al arco 282

Ejercicios 283

3.14 Modificación de las propiedades de los materiales 284

3.14.1 Procedimientos de tratamiento térmico 284
Modificación de la textura del acero por calentamiento 284
Temple 286
Recocido del acero 288
Bonificado del acero 288
Tratamiento térmico de los metales ligeros ... 288
Temple en capas de una pieza 289

Ejercicios 291

4 Técnica de control 293

4.1 Automatización de la fabricación 293

4.1.1 Control y regulación 293
Generalidades 293
Tipos de control 293
Control por guía 295
Control por programa 296
4.1.2 Control numérico 299
Control NC 299
Control CNC 304
Rentabilidad de los controles numéricos 306

Ejercicios 308

4.1.3 Control hidráulico 309
Fundamentos 309
Principio del desplazamiento volumétrico en las bombas 311
Bombas hidráulicas 313
Equipo de accionamiento 315
Regulación del caudal 316
Cilindros 317
Válvulas direccionales 318
Retención/aceite hidráulico 320
Válvulas de cierre 321
Esquema de conexiones 323
Tuberías 325
Racorería 326
Montaje de tuberías 327
Ejemplos de conexiones 328
4.1.4 Comparación entre neumática e hidráulica 331
Generación del aire a presión 333
Componentes 334
Elementos de control 334

Ejercicios 339

5 Téncica de montaje 341

5.1 Tolerancias y ajustes 341

5.1.1 Tolerancias 341
Tolerancias ISO 341
5.1.2 Ajustes 343
Tipos de ajuste 343
Sistemas de ajuste 344
Elección de ajuste 345
Unión de elementos a presión 346

5.2 Superficies técnicas 347

5.2.1 Forma de la superficie 347
Errores de las superficies 347
5.2.2 Metrología 348
Cotas de superficie y rugosidad 348
Procedimientos de verificación y medición 349

Ejercicios 352

5.3 Piezas de máquinas 353

5.3.1 Ejes, árboles, espigas 353
Ejes y árboles 353
Espigas (gorrones, etc.) 354
5.3.2 Cojinetes de fricción 354
Rozamiento y engrase 354
Clases de cojinetes 355
Materiales de los cojinetes 356
Conducción del lubricante 356
Montaje y mantenimiento 357
5.3.3 Rodamientos 358
Fundamentos 358
Fijación de los rodamientos 359
Montaje y desmontaje de los rodamientos 360
5.3.4 Juntas de piezas de máquina redondas 361
5.3.5 Acoplamientos 362
Fundamentos 362
Clases de acoplamientos 363

Ejercicios 367

5.3.6 Ruedas dentadas 367
Forma de los dientes 367

Fabricación del dentado 369
5.3.7 Emparejamiento de ruedas 370
Emparejamiento de ruedas dentadas 370
Pares de ruedas cilíndricas 370
Pares de ruedas cónicas 371
Engranaje sin fin 372
5.3.8 Engranajes 373
Engranajes de ruedas dentadas escalonados 373
Escalonamiento de los engranajes 374
Diagramas de cambios de velocidades 375
5.3.9 Transmisiones 376
Transmisión por cadena 376
Transmisión por correa 377
Accionamientos por rueda de fricción 380
5.3.10 Variadores de velocidad sin escalones 381
Variación continua del número de revoluciones 381
Variadores de velocidad mecánicos 381
5.3.11 Equilibrado 383
Acción de la fuerza centrífuga 383
Desequilibrio estático 384
Desequilibrio dinámico 384

Ejercicios 385

6 Electrotecnia 387

6.1 La electricidad como forma de energía 387

6.1.1 El circuito eléctrico 387
Percepción de la energía eléctrica 387
Tensión eléctrica 388
Corriente eléctrica 388
6.1.2 Leyes fundamentales del circuito eléctrico 389
Medición de la tensión y la corriente 389
Resistencia eléctrica 389
Requisitos a cumplir por los conductores 390
La corriente en función de la tensión y la resistencia 391
Conexión de resistencias eléctricas 391
Clases de corriente 392
Fusibles en los circuitos eléctricos 393
6.1.3 Transformación de la energía eléctrica 393
Energía y trabajo 393
Potencia eléctrica 394
Rendimiento 395
Efectos caloríficos 396
Efectos químicos 396
Efectos magnéticos 397
Fuerzas de un imán 398

6.2 Máquinas eléctricas, transformadores 398

6.2.1 Generadores eléctricos 398
Generación de una tensión alterna 398
Generadores de corriente alterna 398
6.2.2 Motores eléctricos 399
Principio de los motores 399
Motor de corriente continua en derivación 399
Motores de corriente trifásica 400
6.2.3 Transformadores 400
Motores de corriente alterna monofásica 400
Principio del transformador 400

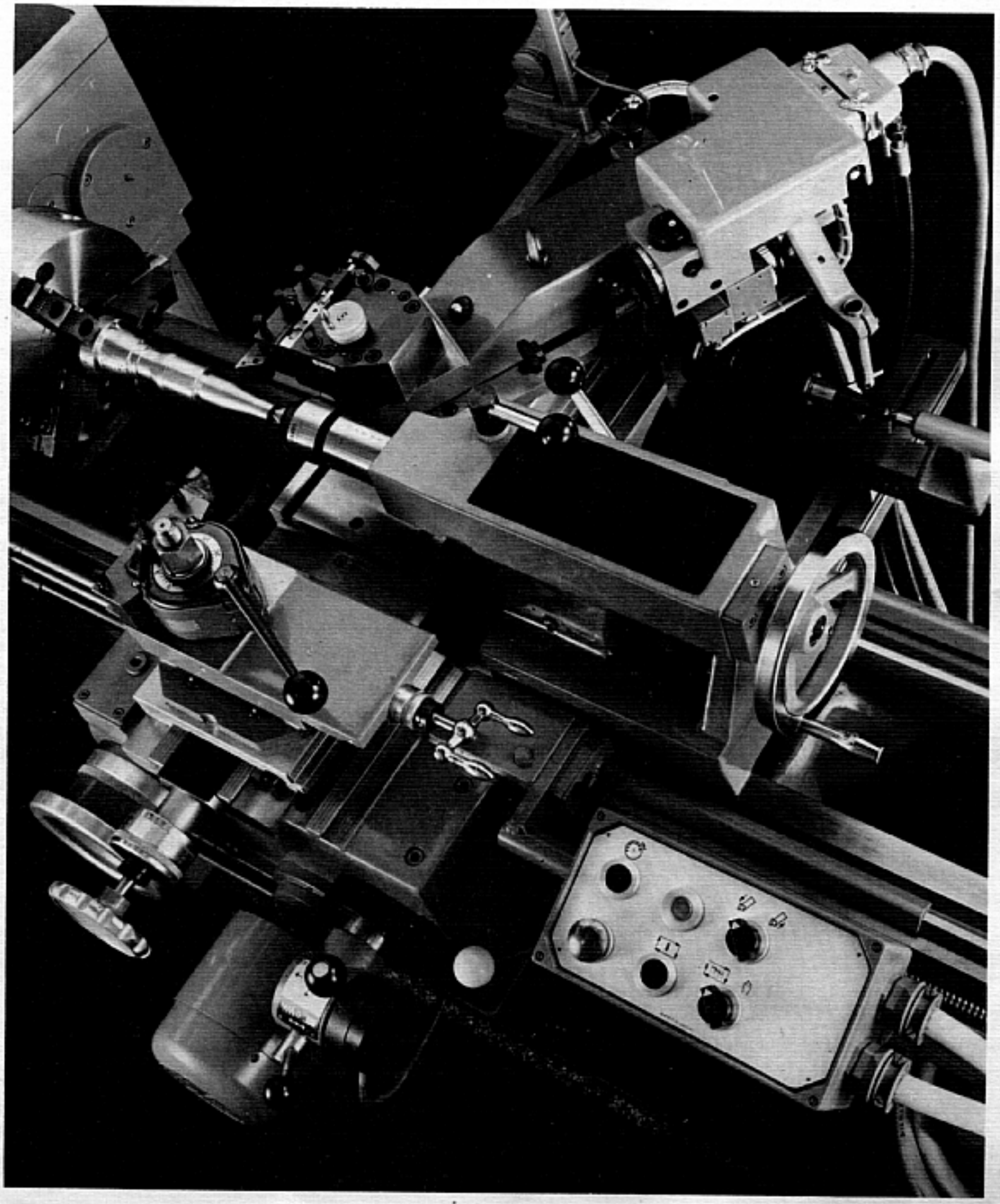
6.3 Seguridad de los aparatos eléctricos 401

6.3.1 Riegos de accidente 401
Efectos de la corriente en el cuerpo humano 401
Primeros auxilios 402
6.3.2 Medidas de protección 402
Medidas de protección sin conductor de protección 402
Medidas de protección con conductor de protección 403
Conexión de aparatos eléctricos 403

Ejercicios 403

Índice alfabético 405

TECNOLOGÍA



1 Verificación de longitudes

1.1 Fundamentos

1.1.1 Magnitudes, unidades, símbolos

Verificar es comprobar que el material y la pieza cumplen las condiciones prescritas.

Verificar es comparar la forma, tamaño, color, estado superficial, resistencia, resistencia al calor, masa, etc., deseados, con los obtenidos realmente.

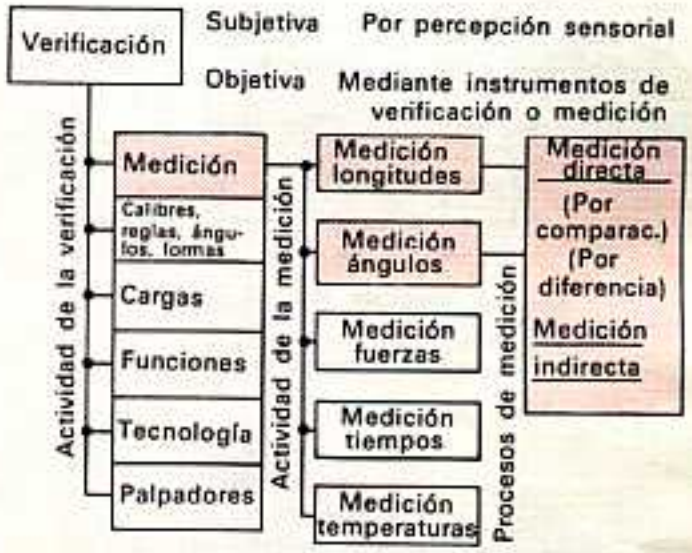


Figura 1-1. Sistematización de los conceptos de la técnica de medición.

MAGNITUDES FÍSICAS Y UNIDADES

Una actividad importante de la verificación es la medición. Se llaman propiedades medibles las magnitudes físicas, p. ej. longitud, tiempo, velocidad, masa y fuerza.

Las magnitudes físicas se caracterizan por símbolos, así la masa es m, el tiempo t, la longitud l. En los textos impresos las letras aparecen en cursiva.

Las magnitudes físicas están determinadas por unidades. Para comparar longitudes entre sí, su diferencia se da en metros. Las unidades se caracterizan también por símbolos que, sin embargo, no se escriben en cursiva.

El Sistema Internacional de Unidades (SI) puede reducirse a siete unidades fundamentales para las magnitudes que suelen medirse en las industrias (figura 1-2).

Magnitud fundamental Nombre	Símbolo	Unidad fundamental Nombre	Símbolos
Longitud	l	Metro	m
Masa	m	Kilogramo	kg
Tiempo	t	Segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	I	Ampere	A
Temperatura termodinámica	T; Θ	Kelvin	K
Cantidad de substancia	n; ν	Mol	mol
Intensidad luminosa	I_v	Candela	cd

Figura 1-2. Magnitudes fundamentales y unidades fundamentales.

Ejemplos:

1. Longitud de una pieza: $l = 2000\ \text{mm} = 200\ \text{cm} = 20\ \text{dm} = 2\ \text{m}$
2. Masa de un cuerpo: $m = 4000\ \text{g} = 4\ \text{kg} = 0{,}004\ \text{Mg}$
3. Tiempo: $t = 3600\ \text{s} = 60\ \text{min} = 1\ \text{h}$
4. Intensidad de un consumidor de corriente: $I = 200\ \text{mA} = 0{,}2\ \text{A}$
5. Temperatura: $T = 293\ \text{K}$
6. Cantidad de substancia de 44 g de dióxido de carbono (CO_2): $n(CO_2) = 2\ \text{mol}$
7. Intensidad luminosa de una lámpara de incandescencia: $I_v = 200\ \text{cd}$

Todas las demás magnitudes físicas pueden formarse partiendo de las unidades fundamentales.

8. Superficie = longitud por anchura $A = 2\ \text{m} \cdot 3\ \text{m} = 6\ \text{m}^2$
9. Volumen = longitud por anchura por altura $V = 0{,}5\ \text{m} \cdot 0{,}2\ \text{m} \cdot 0{,}1\ \text{m} = 0{,}01\ \text{m}^3$
10. Velocidad = $\dfrac{\textit{espacio}}{\textit{tiempo}}$ $\qquad v = \dfrac{20\ \text{m}}{4\ \text{s}} = 5\ \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DE LAS UNIDADES

Se forman con prefijos colocados delante del nombre de la unidad y símbolos antepuestos al de aquélla.

Múltiplos:

Prefijo	Símbolo antepuesto	Potencia de 10 para	
Tera	T	10^{12}	Billones
Giga	G	10^{9}	Miles de millones
Mega	M	10^{6}	Millones
Kilo	k	10^{3}	Miles
Hecto	h	10^{2}	Centenas
Deca	da	10	Decenas

Submúltiplos:

Prefijo	Símbolo antepuesto	Potencias de 10 para	
Deci	d	10^{-1}	Décima
Centi	c	10^{-2}	Centésima
Mili	m	10^{-3}	Milésima
Micro	μ	10^{-6}	Millonésima
Nano	n	10^{-9}	Mil millonésima
Pico	p	10^{-12}	Billonésima

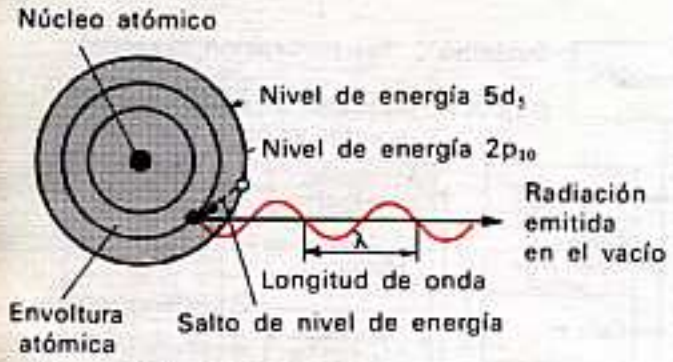


Figura 1-3. Unidad fundamental de longitud.

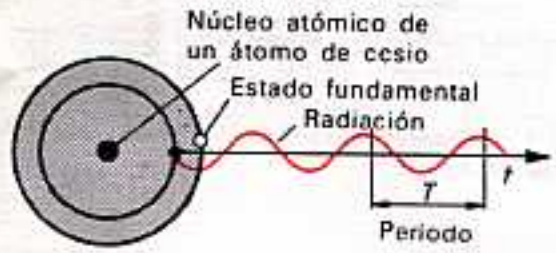


Figura 1-4. Unidad fundamental de tiempo.

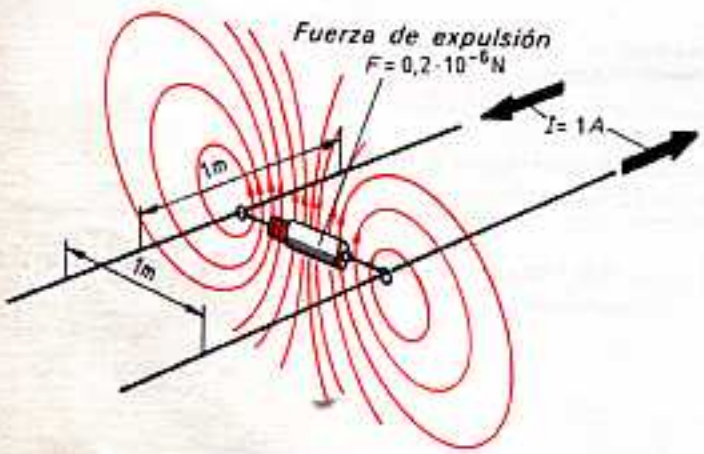


Figura 1-6. Unidad fundamental de intensidad eléctrica.

DEFINICIONES DE LAS UNIDADES FUNDAMENTALES

1 metro es 1 650 763,75 veces la longitud de onda propagada en el vacío de la radiación emitida por el núcleo de Kr^{86} al pasar del estado $5d_5$ al estado $2p_{10}$ (11.ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1960).

1 kilogramo es la masa del kilogramo patrón internacional (1.ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1889).

1 segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles de la estructura hiperfina del estado fundamental del átomo de cesio Cs^{133} (13.ª Conferencia de Pesas y Medidas, 1967).

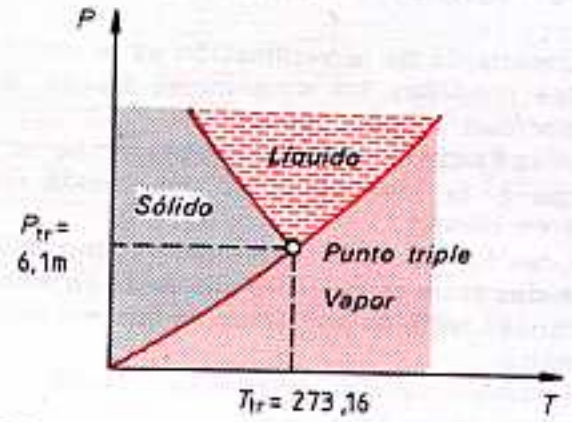


Figura 1-5. Unidad fundamental de temperatura.

1 Kelvin es la 273,16ª parte de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (13.ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1967).

1 candela es la intensidad luminosa con la que luce la superficie (1/600 000)m^2 de un emisor negro a la temperatura de solidificación del platino, a una presión de 101 325 N/m^2 perpendicular a la misma (13.ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1967).

1 mol es la cantidad de substancia de un sistema compuesto por tantas partículas como átomos existen en 12/1 000 kilogramos de carbono.

El número de gramos de substancia igual a la suma de protones y neutrones, es 1 mol de dicha substancia.

H_2O:18; 1 mol H_2O = 18 g.

1 ampere es la intensidad de una corriente eléctrica instantáneamente invariable que fluye por dos conductores rectos infinitamente largos situados en el vacío y paralelos entre sí separados 1 m, de sección circular infinitamente pequeña, despreciable, que genera en cada conductor por metro de longitud, una fuerza de $0,2 \cdot 10^{-6}$ N (9.ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1948).

UNIDADES DE LONGITUD

La unidad fundamental de longitud es el metro. Además del metro se emplea también en algunos países la yarda. Resulta: 1 yarda = 3 pies (3'); 1 pie = 12 pulgadas (12''). Para la conversión: 1'' (1 pulgada) = 25,400 mm.

Los dispositivos de medición de longitudes indican el valor de la medición como submúltiplo o múltiplo de la unidad básica metro.

Submúltiplos de la unidad fundamental metro

metro, decímetro, centímetro, milímetro, micrómetro, nanómetro

1 m $=10^1$ dm $=10^2$ cm $=10^3$ mm $=10^6$ µm $=10^9$ nm

Ejemplo: Valor de la medición = 400 µm = 0,4 mm = 0,04 cm = = 0,004 dm = 0,0004 m

Múltiplos de la unidad fundamental metro

metro, decámetro, hectómetro, kilómetro, megámetro

10^0 m $=10^1$ dam $=10^2$ hm $=10^3$ km $=1$ Mm

Ejemplo: Valor de la medición = 0,2 km = 2 hm = 20 dam = 200 m

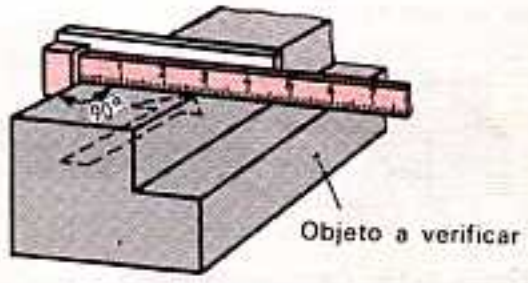


Figura 1-7. Regla graduada (valor de la escala 1 mm).

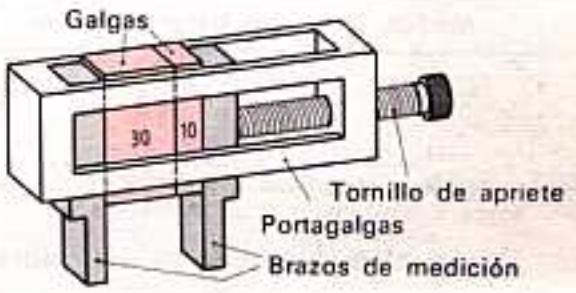


Figura 1-8. Galgas paralelas (montaje de un calibre normal con galgas).

1.1.2 Resumen de los medios de verificación

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CALIBRES

Los medios de verificación necesarios para verificar una pieza son, de acuerdo con DIN 2257, los instrumentos de medición y los calibres.

Los **instrumentos de medición** son elementos tales como las reglas graduadas o las galgas, o dispositivos indicadores como el pie de rey, el tornillo micrométrico y el reloj comparador.

Los **calibres** se refieren a la cota o a la forma de la pieza a verificar, o a ambas, p. ej., el calibre de forma, el calibre de cotas y el calibre de tolerancias.

Los **medios auxiliares** son necesarios como elementos de fijación y de transmisión, y ayudan a utilizar instrumentos de medición, como p. ej., soportes, palancas, prismas y topes.

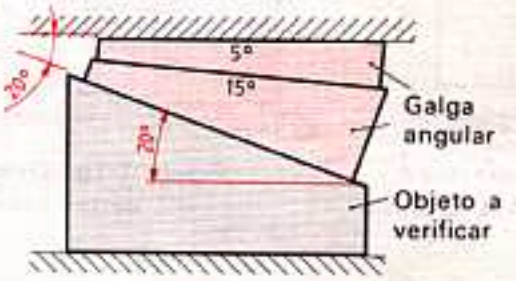


Figura 1-9. Galgas angulares.



Figura 1-10. Pie de rey (valor normal de la escala 1/10. . .1/50 mm).

Figura 1-11. Tornillo micrométrico (graduación 1/100 mm)

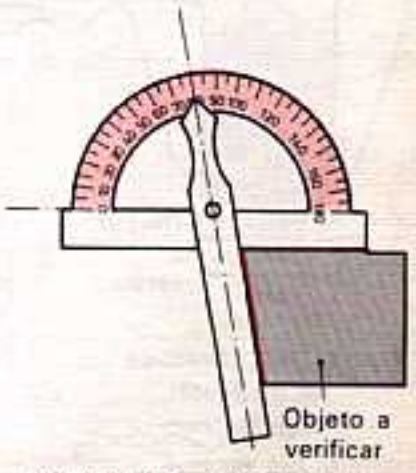


Figura 1-12. Transportador de ángulos (graduación 5°)



Figura 1-13. Calibres de forma.

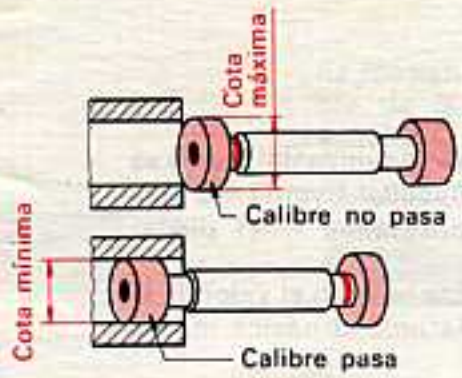


Figura 1-14. Calibre pasa-no pasa.
El calibre con la cota mínima debe pasar por el taladro.
El calibre con la cota máxima no debe pasar por el taladro



Figura 1-15. Calibres

Medida	= Valor numérico ·	Unidad
↓	↓	↓
l	= 12	m
↓	↓	↓
Símbolo para la magnitud física «longitud»	Valor numérico	Unidad de longitud

Figura 1-16. Indicación de una medida.

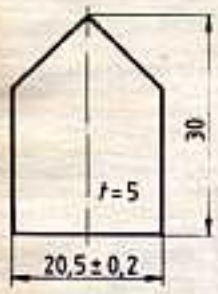


Figura 1-17. Plano de la pieza.

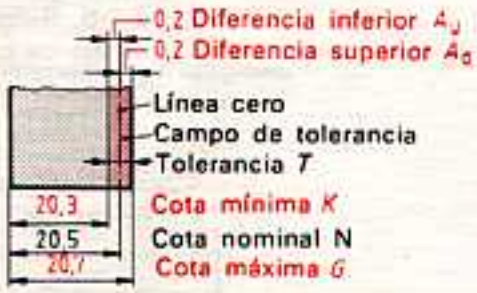


Figura 1-18. Definiciones de las cotas.

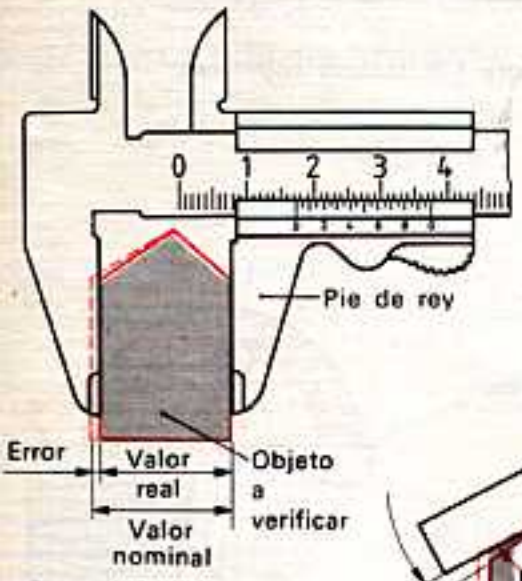


Figura 1-19. Proceso de medición (medición con el pie de rey)



Figua 1-20. Proceso de calibrado (calibrado con escuadra)

1.1.3 Actividades de verificación

DIFERENCIA ENTRE MEDICIÓN Y CALIBRADO

Las actividades de la verificación de longitudes son la medición y el calibrado.

En fabricación, la medición es la comparación numérica de la longitud a medir con un elemento de medición. El resultado es la medida real.

Mediante el calibrado se determina si la longitud, el ángulo o la forma de un objeto está dentro de los límites prescritos o en qué sentido se soprepasan.

Se verifica al recibir la pieza o las herramientas (verificación de recepción), durante la fabricación (verificación de fabricación) y al acabar la pieza (verificación final).

PROCESO DE MEDICIÓN

La magnitud a medir, p. ej., longitud, ángulo, masa o peso de una pieza, se compara con la correspondiente magnitud fundamental.

Para la longitud es 1 metro, para los ángulos 1 grado, para las masas 1 kilogramo y para las fuerzas 1 newton.

El valor de la medición se determina con una o varias indicaciones de un instrumento de medida, p. ej., la regla graduada, el pie de rey, el transportador, la balanza y el dinamómetro. Se indica con el valor numérico y la unidad.

Ejemplo de proceso de medición

Hay que medir la distancia entre las aristas paralelas de una pieza. El dato del plano técnico se llama **valor nominal**. En fabricación no puede conseguirse nunca el valor nominal, por lo que se fijan dos **valores límite** (valores teóricos), entre los que debe encontrarse el valor medido (valor real), para que la pieza sea utilizable.

El mayor valor posible es el **valor máximo**, y el más pequeño posible el **valor mínimo**. La diferencia entre los valores máximo y mínimo se llama **tolerancia**.

El valor nominal del plano es 20,5 mm. Como valor teórico se admite 20,5 ± 0,2 mm. El valor real de la pieza elaborada no debe ser por tanto mayor que el límite superior de 20,7 mm, ni menor que el

límite inferior de 20,3mm. La tolerancia admitida resulta por tanto igual a 20,7 mm − 20,3 mm, o sea 0,4 mm.

Existe un error de fabricación cuando el valor real medido no está dentro de las cotas límite (tolerancia admitida).

Ejemplo:

Como resultado real se han medido 20 mm. La cota mínima es 20,3 mm.
Error = valor real − valor teórico
Error = 20 mm − 20,3 mm = −0,3 mm.

PROCESO DE CALIBRADO

Calibrar es comparar un objeto con un elemento de medida o de forma, el calibre. Se determina si entre la pieza y el calibre existe una desviación, pero no se puede valorar la diferencia.

Si hay que determinar si el valor real de una medición está dentro de la tolerancia prescrita, se utiliza un calibre doble (calibre de tolerancias). En este caso un lado representa la cota máxima y el otro la mínima.

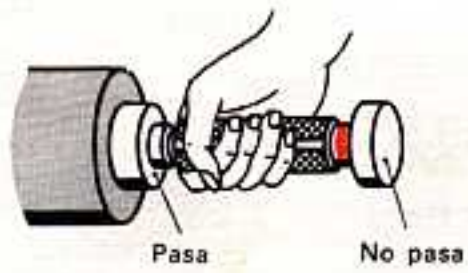


Figura 1-21. Calibre pasa-no pasa

1.1.4 Conceptos de metrología

Los elementos característicos de los instrumentos de medición son los indicadores, las escalas graduadas, la subdivisión, el valor de la escala y el intervalo de medición.

Como procedimiento de medición se distingue entre medición directa y medición indirecta.

ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Por **indicación** se entiende la posición de un índice o aguja sobre una escala graduada.

Una **escala graduada** es la sucesión de un número de rayas sobre un soporte. El **intervalo entre rayas divisoras** es la unidad de longitud de la escala.

Por **subdivisión de la escala** se entiende la unidad numérica indicada, sin indicación de la clase de unidad, p. ej., ocho subdivisiones de la escala.

Por **valor mínimo de la escala** se entiende la variación de la magnitud de medición que produce en la escala graduada el desplazamiento de la aguja o índice en una subdivisión de aquélla, p. ej., valor de la escala = 0,1 mm.

El **intervalo de indicación** es el campo de los valores de medición que pueden leerse en un instrumento de medición. El **intervalo de medición** es la parte del intervalo de indicación en el cual está comprendido el límite de error estipulado.

La medida es el valor determinado por el indicador del instrumento de medición. Resulta de multiplicar la indicación por el valor de la escala.

PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DIRECTOS

En la medición **directa** o **absoluta**, el valor de medición de una magnitud buscado se indica inmediatamente en el instrumento de medi-

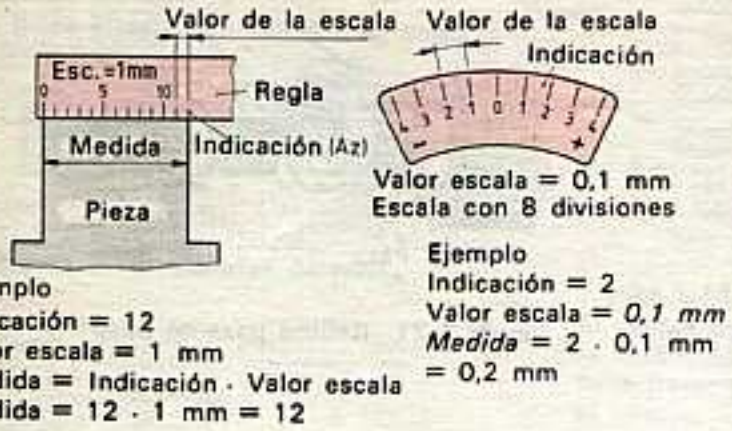


Figura 1-22. Magnitudes características de los instrumentos.



Figura 1-23. Medición directa (regla graduada)

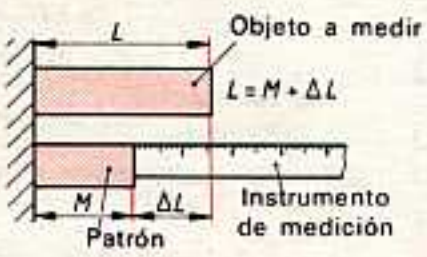


Figura 1-24. Medición por diferencia (regla graduada)

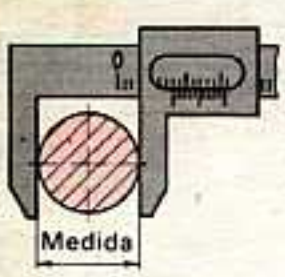


Figura 1-25. Medición directa (pie de rey)

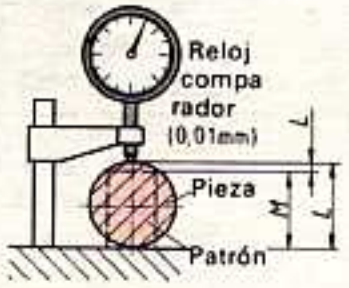


Figura 1-26. Medición por diferencia (reloj comparador)

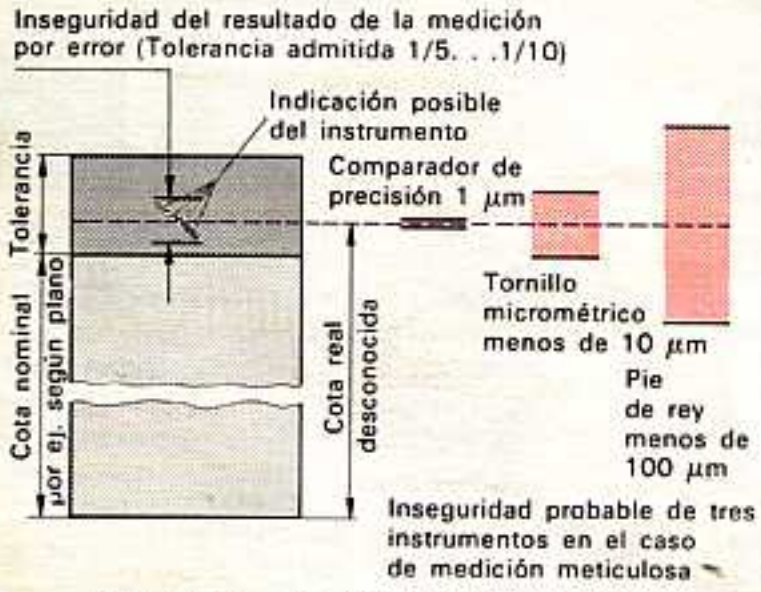


Figura 1-27. Inseguridad en la medición.

ción. La magnitud se compara con un elemento patrón (escala) perteneciente al instrumento. El principio de medición se llama también por esta razón medición de comparación. Ejemplos: regla graduada, pie de rey y tornillo micrométrico.

En la **medición indirecta** o **relativa**, denominada también medición de diferencia, en el instrumento de medición se compara solamente la diferencia de la magnitud con el elemento patrón (calibre de ajuste, galgas paralelas). El instrumento de medición se ajusta en primer lugar al valor nominal con un elemento patrón. Si a continuación se efectúa una medición, se indica la diferencia de longitud entre la pieza y el elemento patrón. Ejemplos: el reloj comparador y el comparador de precisión.

Ejemplo:

La cota nominal del elemento patrón es $M = 20{,}2$ mm; la diferencia de longitudes entre el objeto y el elemento patrón es $\Delta L = 0{,}05$ mm; la longitud verificada es $L = M + \Delta L = 20{,}20$ mm + 0,05 mm = 20,25 mm.

INSEGURIDAD DE LA MEDICIÓN

En un proceso de medición debe determinarse con la mayor exactitud posible la cota real (longitud). El resultado, el valor de medición, se desviará siempre de la cota real. Si se mide una pieza con los siguientes instrumentos: pie de rey, tornillo micrométrico, comparador de precisión y máquina de medir longitudes, cada medición demuestra que la anterior era inexacta, y que la siguiente se aproxima más a la cota real.

Conclusión: Todo resultado de una medición es inseguro.

En metrología, esta diferencia entre la cota real desconocida del objeto (pieza) y el valor determinado, se llama **inseguridad del resultado de la medición.** Los responsables de esta inseguridad son los **errores de medición.**

1.1.5 Errores de medición

Los errores de medición tienen su origen en la imperfección de los objetos de verificación, por ejemplo, la pieza en los elementos patrón, la escala en los mismos instrumentos de medición, juego en los cojinetes, etc., así como en la colocación del instrumento de medición y forma de manejarlo. Por otra parte también actúan las influencias externas tales como temperatura, polvo, humedad, presión atmostérica, así como la atención, la práctica, la agudeza visual, la capacidad de estimación y la concentración del que realiza la medición.

LOS ERRORES APRECIABLES HACEN INCORRECTO EL RESULTADO DE LA MEDICIÓN

Errores de medición sistemáticos son aquellos que bajo las mismas condiciones tienen siempre la misma magnitud y por tanto pueden tenerse en cuenta. Así, p. ej., una variación en tamaño proporcional a la temperatura del objeto a verificar, cuando se verifica automáticamente mientras se tornea o rectifica, puede tenerse en cuenta y eliminar el error del resultado mediante cálculo.

Influencias del calor. Debido a la dilatación por el calor, un cuerpo tiene diferentes longitudes a diferentes temperaturas. Por esta razón se fijó para la medición la temperatura de referencia de +20°C. Para piezas de acero basta generalmente que el instrumento de medición y la pieza tengan la misma temperatura. Las piezas e instrumentos de medición deben protegerse contra las radiaciones solares, contra el calor de los radiadores, contra el calor de las manos, etc. Debe procurarse un equilibrio de temperatura.

Errores debidos a las fuerzas. Las superficies de medición del instrumento deben apretarse contra la pieza con una fuerza determinada. Si esta fuerza es excesiva, el instrumento se dobla y los puntos de contacto se aplastan.

Errores del instrumento. Errores del paso del husillo, errores de división de las escalas, etc., dan como resultado un error del instrumento de medición. Su magnitud puede calcularse mediante una serie de ensayos, p. ej., «error del instrumento = ±0,002 mm».

Un **principio metrológico** afirma: «la colocación debe hacerse siempre de forma que la distancia a medir sea la prolongación rectilínea de la graduación que sirve de escala». Por consiguiente, la pieza a medir y el elemento patrón deben alinearse uno detrás de otro.

La figura 1-29 muestra que con el pie de rey, a causa de la posible basculación de la corredera, puede producirse un error de medición, que es tanto más grande cuanto más hacia los extremos hagan contacto los brazos con la pieza. En el pie de rey no se sigue el principio metrológico anterior. En el tornillo micrométrico de estribo sí se cumple el principio.

Puntos más favorables. Cuando una pieza está apoyada en dos puntos, se produce sistemáticamente un error a causa de la flecha. La variación de longitud es mínima (muy pequeña), y puede despreciarse si el apoyo se hace en puntos determinados y se mide desde las superficies finales. Para piezas largas debe tenerse esto en cuenta, p. ej., con galgas paralelas y objetos largos.

LOS ERRORES ACCIDENTALES HACEN INSEGURO EL RESULTADO DE LA MEDICIÓN

Los **errores accidentales** permanecen como inseguridad en el resultado de la medición. Repitiendo la medición (series de mediciones, p. ej., 20) puede determinarse un valor medio de la inseguridad y tenerse en cuenta en el resultado de la medición).

Errores del instrumento. El juego, desgaste y rozamiento de las piezas móviles.

Error de lectura por paralaje. Si las subdivisiones de la escala de un instrumento de medición no están en el mismo plano de la pieza, puede producirse un error de lectura si se mira lateralmente. Lo mismo ocurre con la distancia de una aguja a la escala.

Error de posición. Si la superficie de medición del instrumento está inclinada respecto a la superficie de la pieza, o se coloca la pieza de forma inclinada, se producen errores notables.

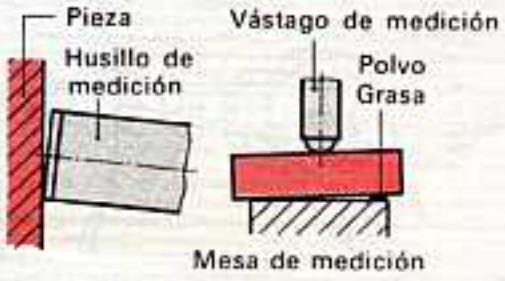


Figura 1-33. Error de posición.

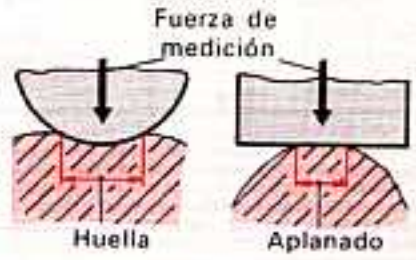


Figura 1-28. Error debido a las fuerzas.

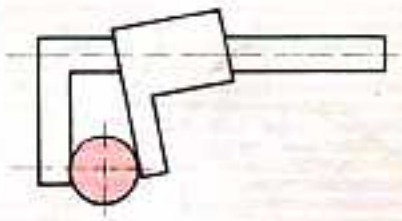


Figura 1-29. El principio metrológico no se cumple en el pie de rey.

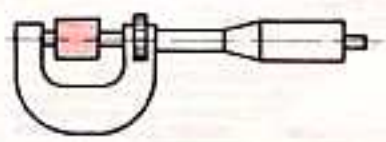


Figura 1-30. El principio metrológico se cumple en el tornillo micrométrico.

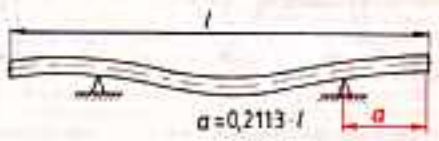


Figura 1-31. Posición con pocos errores de medición, para patrones en forma de barra y objetos a verificar.

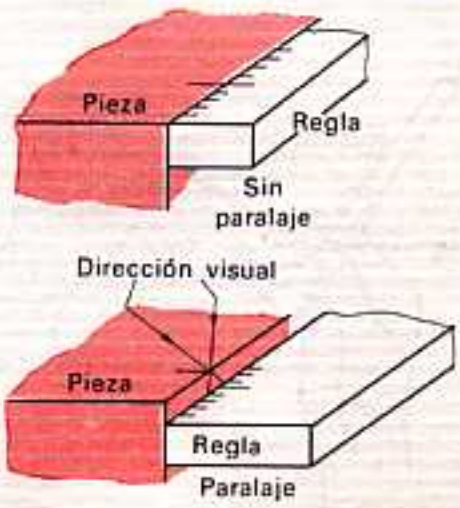


Figura 1-32. Error de paralaje.

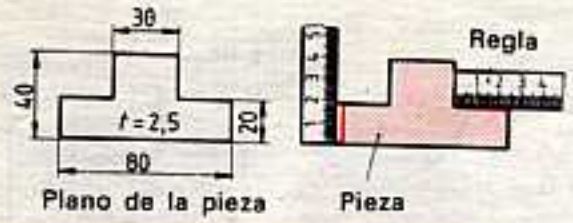


Figura 1-34. Medición directa con regla.

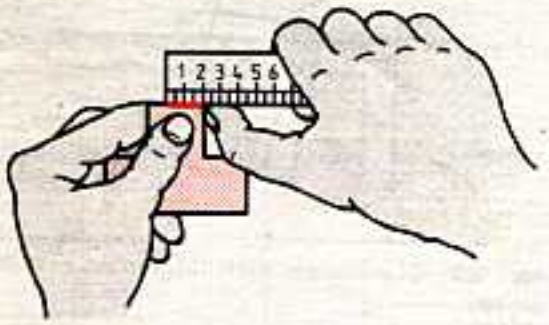
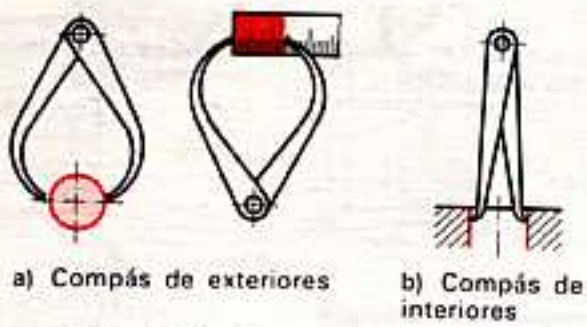


Figura 1-35. Regla graduada.
De esta forma se mide con la regla graduada. Mirar perpendicularmente a la regla.



a) Compás de exteriores b) Compás de interiores

Figura 1-36. Medición indirecta con el compás.

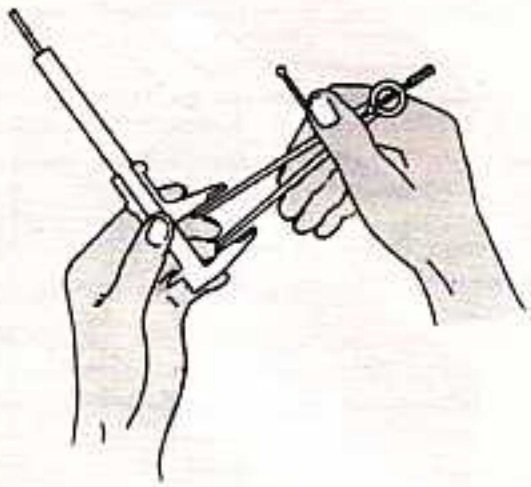


Figura 1-37. Ajuste de la medida.

1.2 Medios para la verificación de longitudes

1.2.1 Verificación con elementos de medición

MEDICIÓN DE LONGITUDES CON LA REGLA GRADUADA

Los elementos patrones representan submúltiplos o múltiplos de la unidad de longitud, o sea el metro.

Los instrumentos de medición con escalas graduadas tienen una subdivisión continua con distancias mínimas entre marcas, de un milímetro entre cada una. El medio milímetro puede medirse únicamente con gran inexactitud, ya que la capacidad del ojo para distinguir entre dos graduaciones es limitada. Las partes de milímetro deben por tanto estimarse.

Las escalas graduadas materializan la medida o cota por la distancia entre dos subdivisiones.

En el taller se emplean reglas metálicas de 100 mm de longitud, 300 y 500, así como cintas métricas de acero y flexómetros. Para comprobar elementos patrones se utilizan reglas de verificación.

En la medición **directa** se compara directamente la longitud de la pieza con la escala graduada de la regla. En las aristas vivas la inseguridad de medición es de unos 0,2 mm.

En la medición **indirecta**, la medida se determina manteniendo la pieza dentro de un elemento de medición auxiliar, p. ej., el compás de exteriores o el compás de interiores.

MEDICIÓN DIRECTA CON EL COMPÁS

Se emplean dos procedimientos diferentes:

1. En la pieza se toma la medida por medio del compás, por ejemplo el diámetro de un eje con el compás de exteriores, y la medida tomada se lee luego en la escala de la regla graduada o del pie de rey.
2. La medida deseada se ajusta en el compás por medio del pie de rey o la regla, comparándola con la pieza a lo largo de la fabricación. En el compás de interiores con muelle puede fijarse la medida ajustada por medio de un tornillo. Aunque se desplace una punta del compás se mantiene en todo momento la medida ajustada sin mover el tornillo de fijación.

Aplicaciones y fuentes de error

El compás se ajusta a mano aproximadamente a la medida. El ajuste fino se hace, en los compases sencillos, dando ligeros golpecitos con una de las puntas sobre una base de madera. No debe golpearse nunca en la superficie de apoyo.

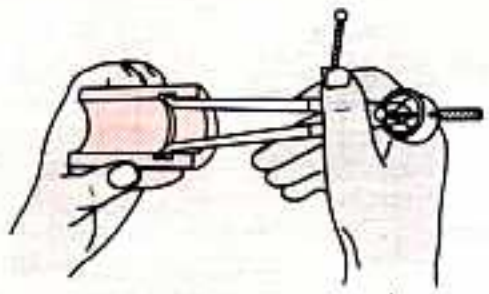


Figura 1-38. Comparación de la pieza con la medida.

Para medir taladros se emplean compases con superficies de contacto planas (no bombeadas).

En los compases con muelle el ajuste se hace con el tornillo de fijación.

Los compases deben tratarse con cuidado y protegerse de la humedad, sudor de las manos y golpes fuertes.

Las puntas deben poderse desplazar uniformemente aplicando una pequeña fuerza pero nunca tan flojas que se muevan por su propio peso.

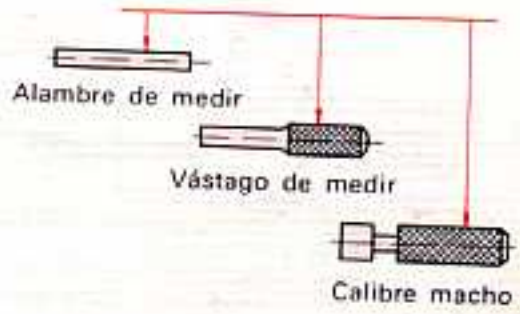


Figura 1-39. Galgas cilíndricas.

MEDICIÓN DE LONGITUDES CON GALGAS

Las galgas materializan la medida o cota por la distancia o la posición entre dos superficies.

En las **galgas cilíndricas**, la cota materializada es el diámetro del cilindro. Los alambres de medición se emplean para medir roscas. Los **vástagos** y **calibres machos** se emplean para calibrar taladros. De esta forma es posible verificar no sólo el diámetro del taladro sino también las desviaciones de la forma girando la galga.

Las galgas paralelas materializan la medida o cota por la distancia entre dos superficies planas.

La galga es un bloque prismático de acero, metal duro o cuarzo, que materializa una medida o cota única. Las galgas paralelas tienen un espesor uniforme de 9 mm.

Las superficies de medición son planas y lapeadas, de tal forma que dos galgas se adhieren entre sí como consecuencia de la adhesión al hacer deslizar una sobre otra. Una medida determinada puede formarse acoplando un bloque de varias galgas. Al colocarlas debe tenerse en cuenta que las galgas grandes deben quedar en el exterior y las pequeñas entre aquéllas. Las galgas de acero no deben mantenerse mucho tiempo adheridas, ya que sueldan en frío. La separación debe realizarse mediante un deslizamiento suave. Como protección contra el desgaste, las superficies de medida de las galgas de acero son de cromo duro o están revestidas de metal duro.

Tratamiento de las galgas paralelas. Antes de montar las galgas se limpian con algodón y gasolina, y en caso necesario se quita el polvo e hilos con un pincel de pelo. Las galgas deben protegerse del calor y sudor de las manos. Después de utilizarlas se limpian, se engrasan ligeramente y se guardan formando juegos.

Juego de galgas

Con un juego lógico de galgas pueden formarse todas las longitudes comprendidas entre unos valores mínimo y máximo.

Serie de medidas	Número de bloques	Tamaño	Escalonamiento de bloque a bloque
1	9	1,001 ... 1,009	0,001 mm
2	9	1,01 ... 1,09	0,01 mm
3	9	1,1 ... 1,9	0,1 mm
4	9	1 ... 9	1 mm
5	9	10 ... 90	10 mm

Un juego de galgas consta de un número mínimo de bloques.

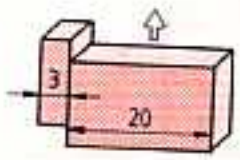


Figura 1-40.
Ensamblaje de galgas.

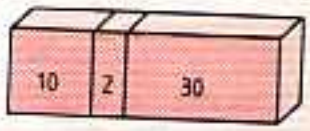


Figura 1-41.
Juego de galgas.

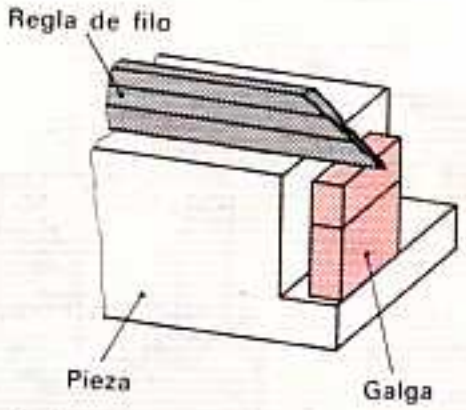


Figura 1-42 Transmisión de la medida por palpado.

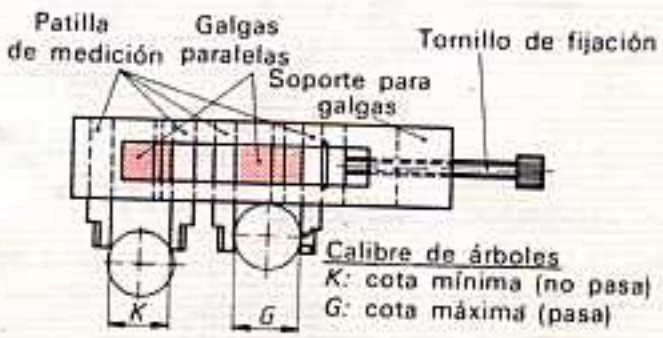


Figura 1-43. Soporte de galgas usado como calibre de tolerancias.

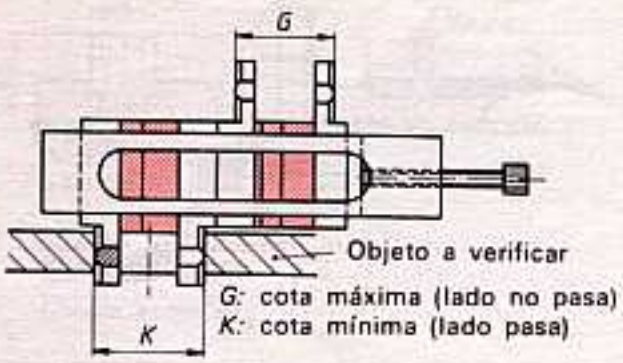


Figura 1-44. Soporte de galgas con patillas de medición semirredondas, usado como calibre para taladros.

Composición del juego	Composición de medidas (ejemplos)			
1,001 ... 1,009	1,06	1,004	1,009	1,06
1,01/1,02/1,03/1,06	1,6	1,06	1,06	1,01
1,1/1,2/1,3/1,6	1,1	1,02	1,03	6
1/2/3/6	2	1,3	1,3	2
10/20/30/60/100	10	1	1	100
	30	3	20	
	45,76	8,384	25,399	110,07

Es importante la posibilidad de transportar la medida materializada, lo cual puede hacerse palpando con el compás las superficies de medición.

En un **soporte de galgas** se fijan los brazos de medir y una combinación de galgas, mediante una pieza de presión y un tornillo tensor (figuras 1-43 y 1-44).

1.2.2 Verificación con instrumentos indicadores

MEDICIÓN DE LONGITUDES CON EL PIE DE REY

El pie de rey se caracteriza por una corredera con nonius que se desplaza a lo largo de una guía provista de una escala graduada.

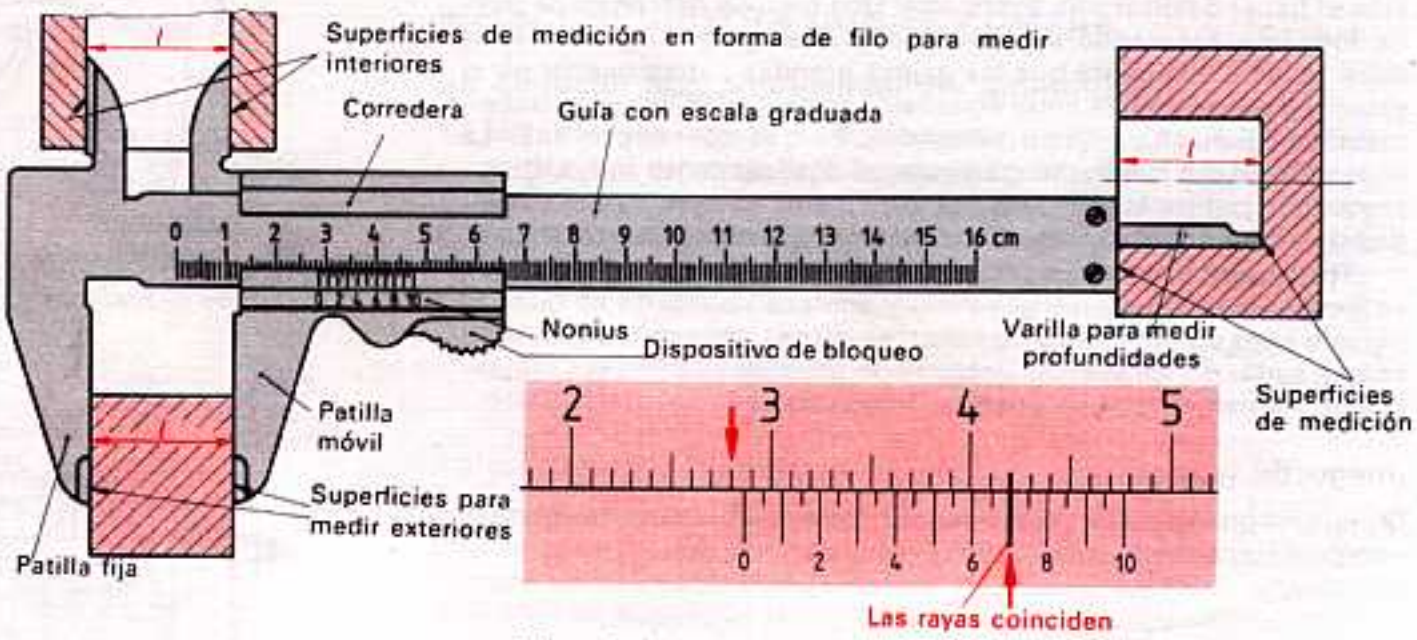


Figura 1-45.

Constitución. Los pies de rey de la forma A poseen una parte fija y otra móvil. Para medir cotas exteriores, interiores y profundidades, existen superficies de medición especiales. La subdivisión de la escala de la guía es de 1 mm, y la longitud normalizada del nonius de la corredera es de 19 ó 39 mm.

El **nonius** hace posible la lectura directa de submúltiplos de milímetro. Existen nonius con precisión de 1/10 mm, 1/20 mm y 1/50 mm. El nombre tiene su origen en el portugués Pedro Nuñez (o Nonius) (1492-1577).

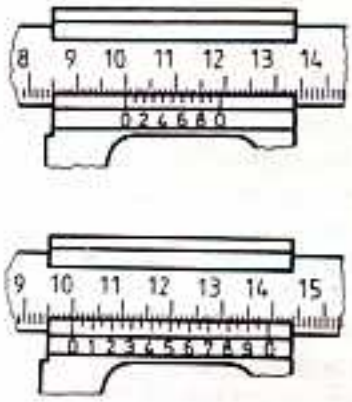


Figura 1-46. Nonius de 1/10 mm y de 1/20 mm.

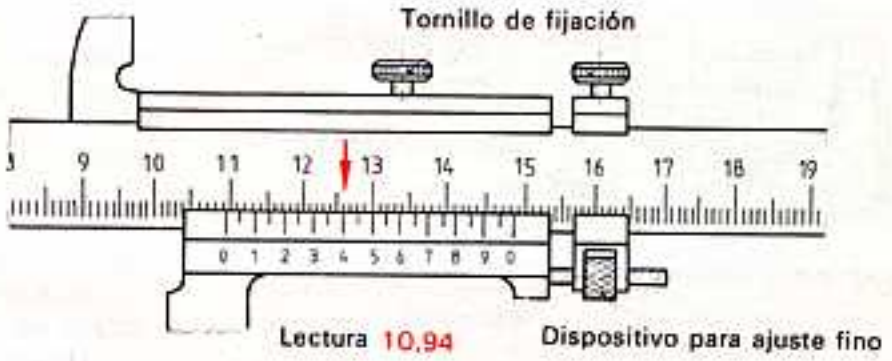


Figura 1-47. Ejemplo de lectura con nonius de 1/20 mm.

La longitud normalizada del nonius para 1/10 mm es de 19 mm y para 1/20 mm de 39 mm. En el nonius de 1/10 mm, la corredera de 19 mm está subdividida en 10 partes iguales, de forma que la distancia entre dos graduaciones es 19/10 mm = 1,9 mm. La medida del nonius de 1/10 mm resulta de la diferencia de los dos valores de la escala de la subdivisión principal y uno de la escala del nonius. Esta diferencia es 2 mm − 1,9 mm = 0,1 mm.

Lectura de la medida. Los milímetros enteros se leen a la izquierda del cero del nonius, sobre la escala principal; por ejemplo, la lectura en la figura 1-45 es 28,7 mm. Las décimas de milímetro se leen en la escala del nonius, en la subdivisión que coincide con una de la escala principal. El número de subdivisiones en el nonius indica las décimas de milímetro, p. ej., 7 · 0,1 mm = 0,7 mm.

El pie de rey para profundidades sirve para medir la profundidad de chaveteros, talones y taladros ciegos. Para medir se apoya la corredera sobre la superficie de la pieza, desplazando luego la guía hasta la superficie interior, se aprieta el tornillo de fijación y se efectúa la lectura.

El pie de rey de la forma B tiene superficies de medición en forma de filos para mediciones exteriores y superficies redondeadas para mediciones interiores.

En el caso de mediciones interiores debe sumarse 10 mm a la medida, ya que las puntas tienen un ancho de 5 mm cada una.

Comprobación del pie de rey

Con los brazos cerrados las superficies interiores deben presentar una rendija de luz uniforme. La precisión puede comprobarse con la ayuda de galgas.

Errores en el manejo del pie de rey:

El brazo de medición no se desplaza lo suficiente para abarcar la pieza. — Colocación inclinada durante la medición. — Juego perceptible entre guía y corredera. — Superficies de medición sucias. — Presión excesiva o insuficiente al colocar el brazo de medición.

MEDICIÓN DE LONGITUDES CON EL TORNILLO MICROMÉTRICO

Como materialización del tornillo micrométrico se emplea una rosca rectificada de 0,5 mm de paso.

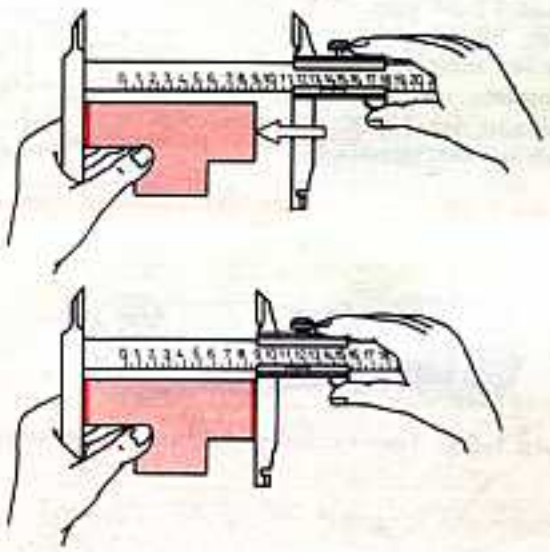


Figura 1-48. Medición correcta con el pie de rey. Apoyar la patilla fija en la pieza y correr la móvil.

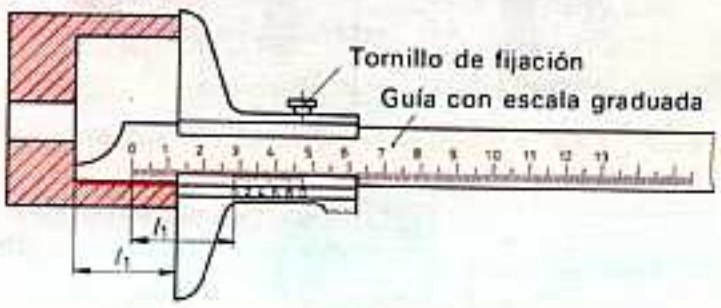


Figura 1-49. Pie de rey para profundidades.

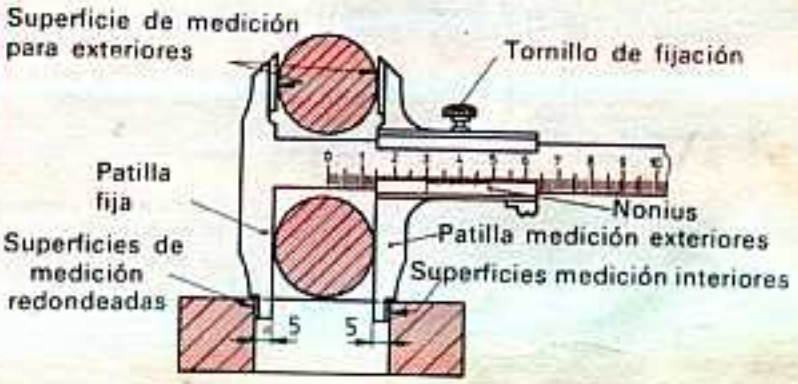


Figura 1-50. Pie de rey de forma B.

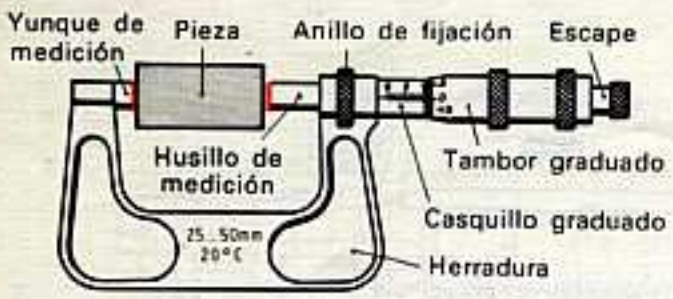
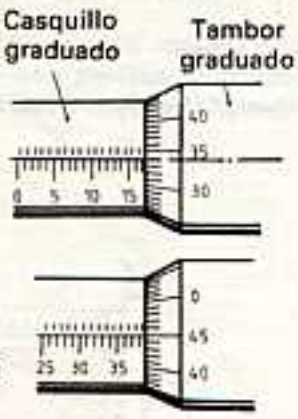


Figura 1-51. Tornillo micrométrico de herradura.



Arriba: 17,34 mm
Abajo: 38,95 mm
Leer los milímetros y medios milímetros en el casquillo graduado, las 1/100 milímetro en el tambor graduado

Figura 1-52. Ejemplos de lectura con el tornillo micrométrico.

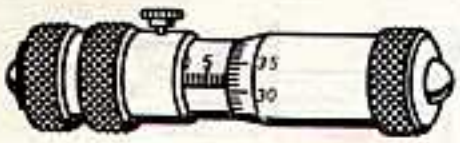


Figura 1-53. Tornillo micrométrico de interiores.

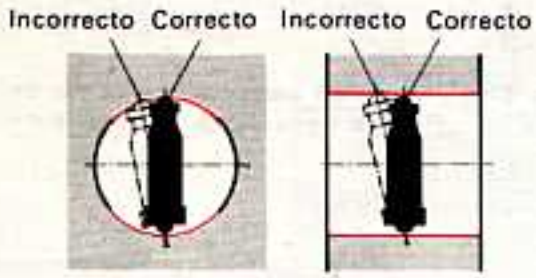


Figura 1-54. Errores en la medición con tornillo micrométrico de interiores.

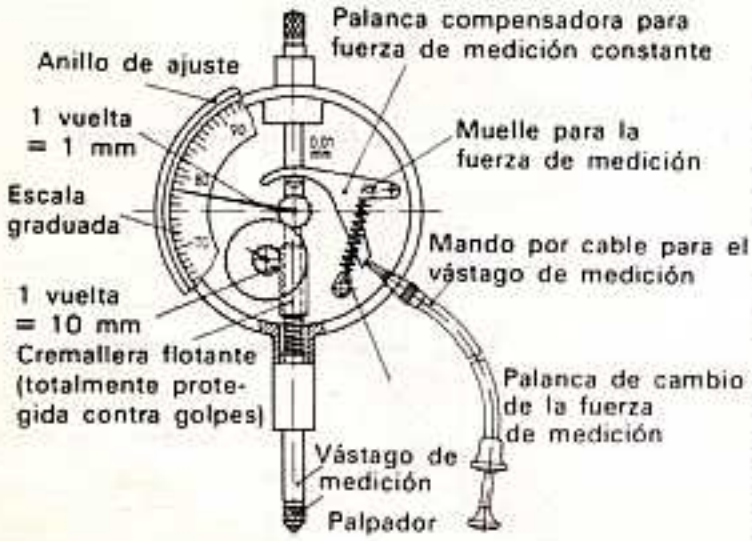


Figura 1-55. Reloj comparador protegido contra golpes.

Para la medición de longitudes, **los tornillos micrométricos** disponen como parte móvil de un husillo roscado. En el tambor graduado existen normalmente 50 subdivisiones. El paso de la rosca es de 0,5 mm. Con un giro del tambor se produce un avance del husillo de 0,5 mm; una subdivisión significa 0,5 mm: 50 = 0,01 mm. Los milímetros y medios milímetros se leen en el casquillo graduado.

El valor mínimo de la escala es 0,01 mm.

El tornillo micrométrico de arco para mediciones exteriores posee un campo de medición determinado, p. ej., de 0 a 25 mm. El arco resistente a la flexión está revestido de placas aislantes para protegerlo del calor de las manos. El juego del husillo puede ajustarse con una tuerca situada en el interior del casquillo graduado. Para ajustar el punto cero se puede girar y desplazar el tambor graduado sobre el husillo.

A consecuencia del paso de rosca tan pequeño, se reduce la graduación de la escala pero, por el contrario, se multiplica la fuerza de rotación ejercida por la mano, de forma que se aplican fuerzas de medición mayores. Un embrague de fricción hace posible que la fuerza aplicada entre pieza y husillo quede limitada a 5 ó 10 N. Si se va acercando despacio el husillo a la pieza, girando a través del embrague, se consigue una precisión de medición uniforme.

Acercar despacio el husillo a la pieza girando.

MEDICIÓN DE LONGITUDES CON COMPARADORES

Los relojes comparadores son instrumentos para medir longitudes, en los cuales el recorrido del vástago de medición se marca ampliado mediante una cremallera o husillo roscado y rueda dentada.

La graduación de la escala es de 0,01 mm. Un giro completo de la aguja corresponde a 1 mm.

La aguja de un comparador puede dar varias vueltas completas.

Mediante un anillo de regulación puede ponerse a cero la escala graduada, cualquiera que sea la posición de la aguja.

Los comparadores se utilizan para medir diferencias de longitud. Si se emplea para el reglaje una galga paralela, la escala graduada giratoria se coloca en la marca cero. A continuación se mide la pieza, la diferencia de longitud entre la pieza y la galga es lo que se indica. La escala graduada pequeña indica milímetros enteros, y la escala grande centésimas de milímetro.

Aplicaciones del reloj comparados: medición de espesores, verificación de la planicidad de superficies, verificación de la redondez de un árbol y verificación del paralelismo de dos superficies.

Instrucciones para medir: Fijar bien el comparador en el soporte. — Limpiar la superficie de apoyo del soporte y la pieza. — Apretar el tornillo de fijación del soporte. — Descender suavemente el comparador sobre la superficie de la pieza hasta que tenga lugar una indicación. — Desplazar la pieza y leer la medida. — Mirar perpendicularmente a la escala graduada, con el fin de evitar el error de paralaje.

DIFERENCIAS ADMITIDAS PARA LAS COTAS SIN INDICACIÓN DE TOLERANCIA

Si los planos **no** están provistos de tolerancias especiales, se aplican en la fabricación las tolerancias libres según DIN 7168. Se trata de desviaciones admitidas de las cotas nominales del plano que pueden verificarse con la precisión usual en un taller mediante el pie de rey o el tornillo micrométrico de arco.

Las desviaciones admitidas según DIN para **longitudes** son válidas para cotas exteriores e interiores, diámetros, anchuras, alturas, espesores y distancias entre taladros. Los diferentes grados de precisión de la fabricación se tienen en cuenta con las designaciones de fino, medio, basto y muy basto.

Extracto de DIN 7168

Grado de precisión	Alcances de medida nominales (valores en mm) más de 3. . .6	más de 6. . .30	más de 30. . .120
fino	±0,05	±0,1	±0,15
medio	±0,1	±0,2	±0,3
basto	±0,2	±0,5	±0,8
muy basto	±0,5	±1,0	±1,5

Las diferencias admitidas para medidas **angulares** son válidas para losk-ángulos indicados en los planos de piezas.

Grado de precisión	Medida angular (valor en grados) hasta 10°	más de 10° hasta 50°	más de 50° hasta 120°
fino, medio	±1°	±30'	±20'
basto	±1°30'	±50'	±25'
muy basto	±3°	±2°	±1°

1.2.3 Verificación con comparadores de precisión

EMPLEO DE COMPARADORES DE PRECISIÓN

Los comparadores de precisión (micropalpador, instrumentos de contacto) son instrumentos indicadores. La pequeña magnitud de medición es multiplicada mecánicamente (mediante un sistema de palancas o por palanca y rueda dentada, o segmento dentado) y da una oscilación mayor de la aguja indicadora, con lo cual se hace claramente legible.

A menudo se coloca el comparador de precisión en un soporte y se emplea para medir diferencias de alturas o espesores. El comparador de precisión se ajusta con galgas o con calibres nominales (macho, disco) a la cota nominal. Para ello se regula en altura con los tornillos de reglaje basto y fino, hasta que la aguja esté en el cero. Al efectuar la medición, la aguja se mueve hacia la derecha o hacia la izquierda e indica cuánto difiere la pieza en más o menos del patrón. Con las dos marcas regulables para tolerancias pueden fijarse las cotas límite, de manera que la persona que hace la medición puede ver de una ojeada si la cota real está dentro de la tolerancia. Para mediciones en la fabricación en serie, se pueden acoplar a estos aparatos indicadores eléctricos. Si se soprepasan las marcas de las tolerancias se producen señales ópticas y acústicas.

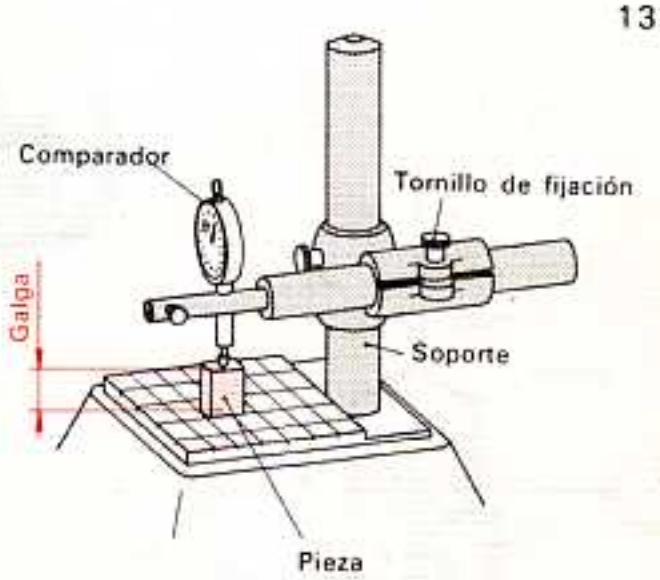


Figura 1-56. Aplicación del comparador.

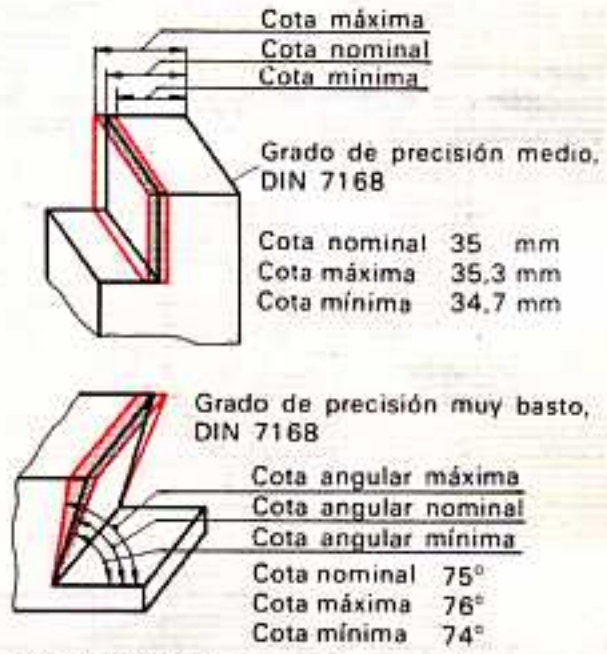


Figura 1-57. Cotas máxima y mínima para longitudes y ángulos.



Figura 1-58. Comparador de precisión con soporte.

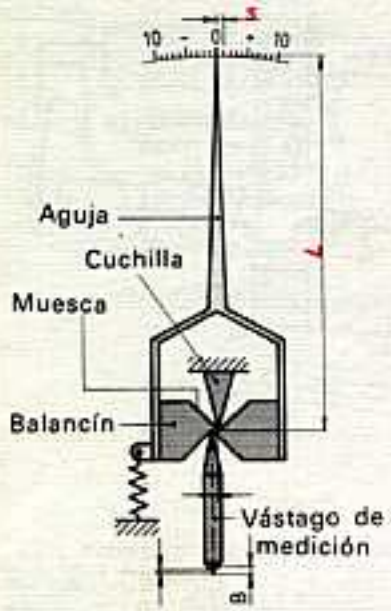


Figura 1-59. Comparador de precisión con multiplicación por palanca.

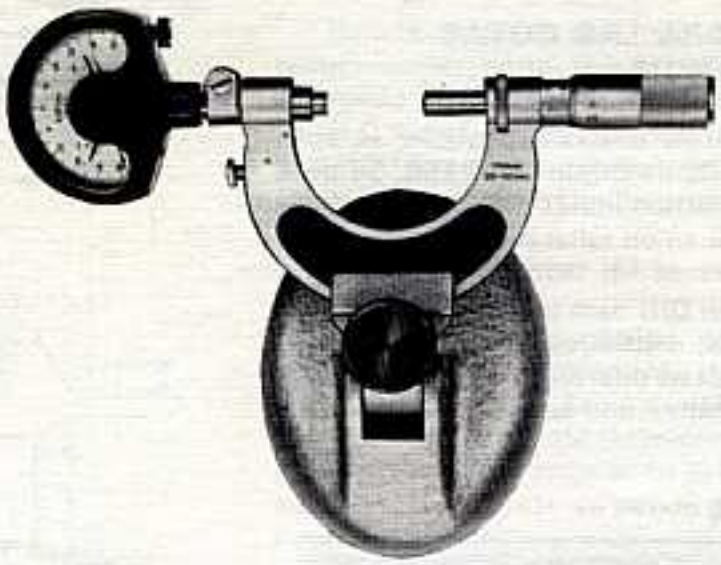


Figura 1-60. Tornillo micrométrico con comparador de precisión.
El tornillo micrométrico sustituye aquí al soporte. Al mismo tiempo el comparador limita la fuerza de medición entre 0,5 N y 0,8 N.

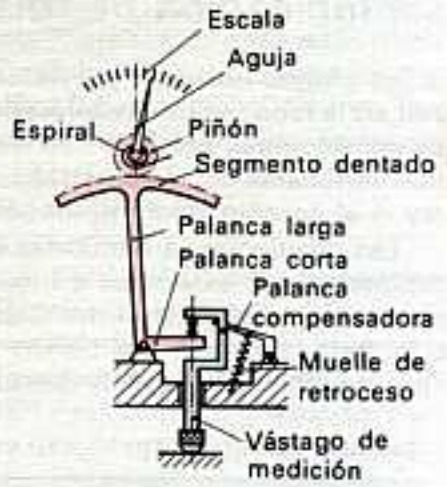


Figura 1-61. Comparador de precisión con multiplicación por palanca y rueda dentada.

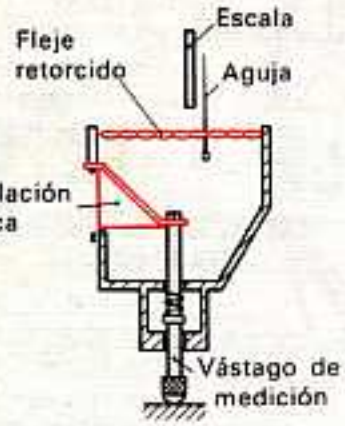


Figura 1-62. Comparador de precisión con multiplicación por fleje tensor.

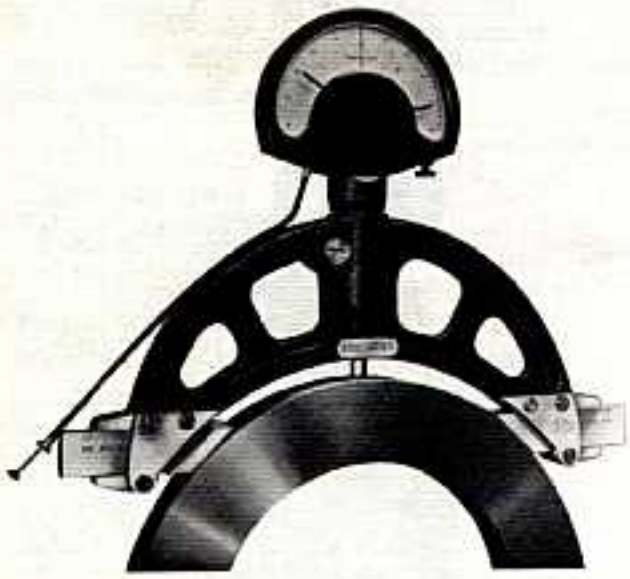


Figura 1-63. Calibre jinetillo con comparador de precisión. Para medir diámetros grandes. Poner a cero con un patrón.

COMPARADOR DE PRECISIÓN CON MULTIPLICADOR POR PALANCA

Puesto que el vástago y la cuchilla de medición están desplazados entre sí una distancia *l*, todo movimiento vertical del vástago medidor hace girar al balancín alrededor de la cuchilla, con lo cual la aguja se desvía hacia la izquierda o hacia la derecha. Debido a la diferencia de longitud entre *l* y *L*, el movimiento del vástago *x* se multiplica y convierte en el movimiento *s* mayor de la aguja. Si la relación de las longitudes de las palancas es $l:L = 1:500$, la relación entre los recorridos del vástago y la aguja es también

$x:s = 1:500.$

Para una oscilación de la aguja de 0,5 mm, el recorrido del vástago de medición es:

$x:s = 1:500;\ x = 0{,}5\ \text{mm} \cdot {}^{1}/_{500} = 0{,}001\ \text{mm}.$

Campo de medición B (máximo recorrido del vástago). Debido a la multiplicación tan alta sólo son posibles pequeños campos de medición (0,02 a 0,2 mm).

COMPARADOR DE PRECISIÓN CON MULTIPLICACIÓN POR PALANCA Y RUEDA DENTADA COMBINADAS

El recorrido del vástago de medición se indica en este caso por una oscilación mayor de la aguja, mediante multiplicación por palanca y rueda dentada. El instrumento está protegido contra golpes, ya que si sufre alguno, el vástago se levanta de la palanca. El muelle de retroceso actúa sobre el vástago como en los comparadores corrientes a través de una palanca compensadora.

Con dos multiplicaciones por rueda dentada (o sector y rueda) se consigue una multiplicación de 1 000 veces, con un intervalo de medición de 0,050 mm (valor de la escala = 0,001 mm). Mediante un muelle espiral alojado en el piñón de la aguja se compensa el juego

entre las piezas de la multiplicación. El vástago de medición y el piñón de la aguja están unidos por la fuerza del muelle.

COMPARADOR DE PRECISIÓN CON MULTIPLICACIÓN POR FLEJE TENSOR

En este caso el vástago de medición actúa sobre una articulación elástica unida a un fleje metálico fabricado con acero para muelles. Este fleje tensor está retorcido la mitad hacia la derecha y la mitad hacia la izquierda, partiendo del centro del mismo. Si el fleje se alarga o acorta a través de la articulación elástica, entonces la aguja que está situada en el centro del fleje, perpendicularmente a éste, gira en uno u otro sentido. Con este instrumento y un intervalo de medición de ±0,001 mm, pueden obtenerse multiplicaciones hasta por 25 000.

COMPARADOR DE PRECISIÓN CON PALPADOR MECÁNICO Y AMPLIFICACIÓN ÓPTICA

Para la amplificación óptica de la indicación del recorrido del vástago, se emplea un haz luminoso como brazo mayor de palanca.

Una faja luminosa estrecha procedente de una lámpara incide en un espejo basculante. El espejo refleja el rayo a otro espejo fijo, el cual lo transmite a una escala. En cuanto el espejo basculante se mueve por la acción del vástago palpador, cambia la trayectoria del rayo y la marca de luz se desplaza sobre la escala, indicando de esta forma la desviación respecto a la cota ajustada.

Con varias reflexiones del haz de rayos puede hacerse mayor la ampliación.

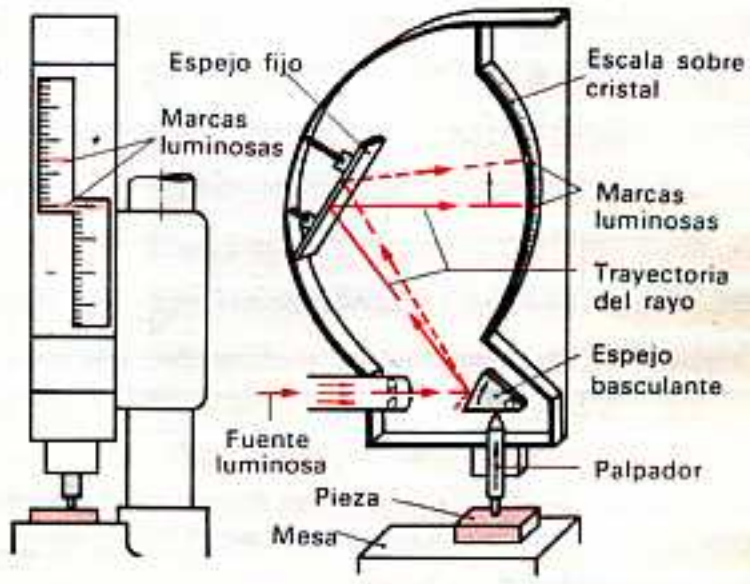


Figura 1-64. Comparador de precisión con palpador mecánico y amplificación óptica.

COMPARADOR DE PRECISIÓN CON CONTACTOS LIMITADORES ELÉCTRICOS

En los comparadores con contactos limitadores eléctricos, éstos pueden ajustarse como marcas de tolerancia.

La presente figura muestra cómo se emplean los comparadores de precisión para la verificación de árboles de levas en una **disposición de medición múltiple.** Esta fórmula evita los errores por diferentes mediciones. Tal como muestra el sistema, se han reunido varios comparadores de precisión en un punto de medición, indicando los resultados de la misma para el punto de apoyo de la izquierda y de las levas adyacentes, en un resultado reflejado sobre varios comparadores.

Estas mismas disposiciones se emplean también en los procesos de fabricación con máquinas-herramienta, para el control de cotas, para clasificar piezas terminadas o para el mando de la máquina. Tan pronto como la aguja del instrumento de medición sobrepasa uno de los contactos eléctricos limitadores, o sea que la cota es demasiado grande o demasiado pequeña, se emiten impulsos a dispositivos indicadores o de mando. Por ejemplo, una serie de señales luminosas indican el estado dimensional de la pieza: verde ≙ buena; rojo ≙ rechazada (demasiado pequeña); blanca ≙ repasar (demasiado grande). O también se cambian las máquinas para trabajos de desbaste o acabado, para ajustar una décimas de milímetro una muela de rectificar y para terminar procesos de mecanizado.

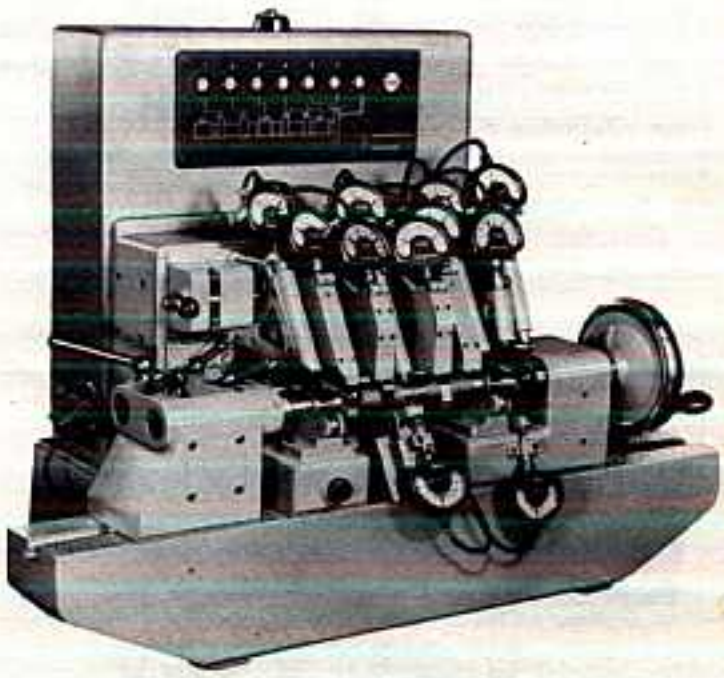


Figura 1-65. Medición múltiple.
Comparador de precisión con contactos eléctricos limitadores.

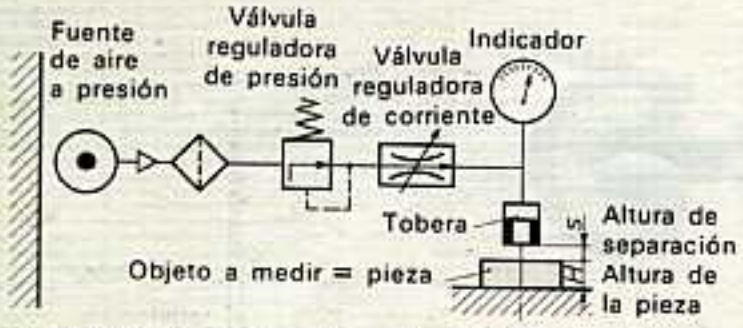


Figura 1-66. Estructura de un dispositivo neumático de medición.

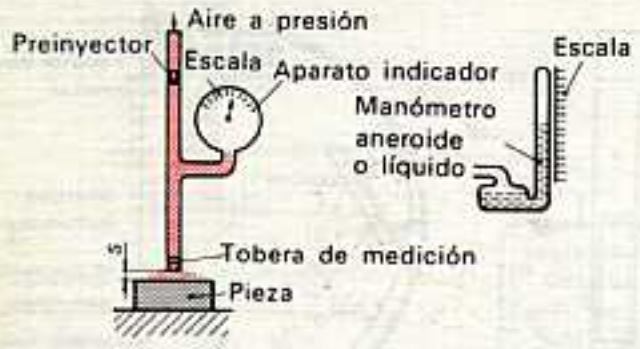


Figura 1-67. Procedimiento de medición por presión, con indicador de manómetro aneroide (a la izquierda) o de manómetro líquido (a la derecha).

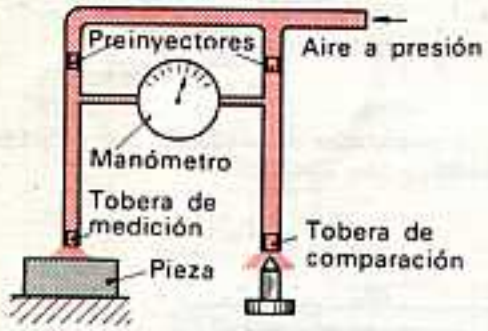


Figura 1-68. Procedimiento de medición por diferencia de presión.

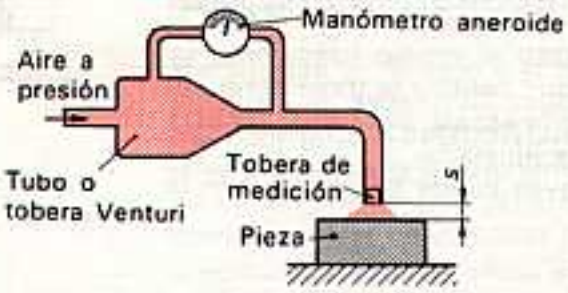


Figura 1-69. Procedimiento de medición por velocidad, con indicador de manómetro aneroide.

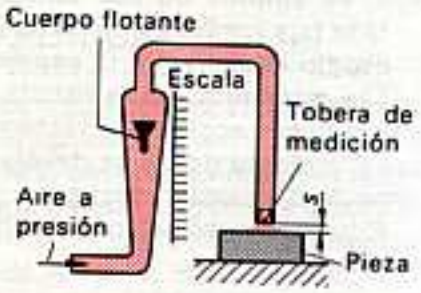


Figura 1-70. Procedimiento de medición por volumen.



Figura 1-71. Disposición para instrumento indicador de aguja.

1.2.4. Verificación con instrumentos neumáticos

PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN NEUMÁTICOS

Sus ventajas son: gran multiplicación (10 000 veces y más), ejecución robusta (por lo tanto aplicable en el taller), medición sin contacto, sin desgaste, separación de los puntos de medición e indicador, emisión de impulsos con fines de mando.

Si se proyecta por una tobera aire limpio y seco sobre la superficie de medición, pasa por el tubo conductor una determinada cantidad de aire (volumen) a una cierta presión. Si disminuye la distancia entre la tobera y la pieza (separación *s*), debido a que la pieza es más gruesa que la anterior, entonces el volumen de aire que pasa por unidad de tiempo es también menor. Como consecuencia de esto disminuye la velocidad de salida del aire, aumentando la presión dinámica en el aparato indicador. La diferencia de presiones dinámicas la indica el instrumento de medición (procedimiento de diferencia de presiones). También puede utilizarse como base de medición la diferencia de velocidades o de volúmenes del aire (procedimiento de diferencia de velocidades o de volúmenes).

MODELOS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN NEUMÁTICOS

Los instrumentos de medición neumáticos trabajan por el procedimiento de presión, diferencia de presiones, velocidad o volumen.

En los procedimientos de presión sencilla se indica la variación de presión en el conducto de la tobera, por variación de la altura de la separación *s*, mediante un manómetro aneroide o de líquido.

El procedimiento de diferencia de presiones es más preciso, ya que una variación mínima de presión en la conducción del aire no influye nada o casi nada en la diferencia de presiones medida entre el tubo de la tobera y el de ajuste.

En las secciones pequeñas del tubo Venturi cuando se emplea el procedimiento de velocidad, la velocidad del aire es máxima y la presión mínima. Si circula más aire por una separación *s* mayor, aumenta la velocidad y disminuye la presión. Esta variación se indica en un manómetro aneroide.

En el tubo de cristal cónico del instrumento de medición por volumen, el cuerpo flotante se levanta tanto más cuanto más aire salga por la tobera de medición.

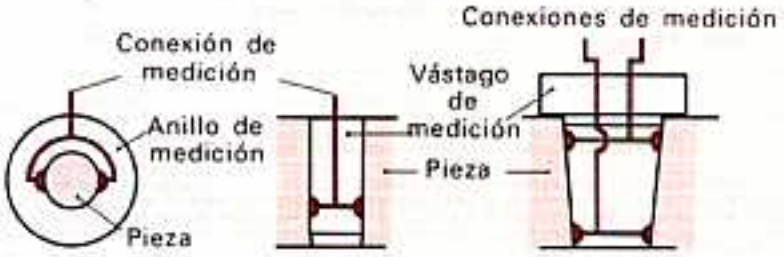


Figura 1-72. Elementos sensores para dispositivos neumáticos de medición.



Figura 1-73. Palpador.

1.2.5 Verificación con instrumentos de medición electrónicos

En el caso de medición electrónica de longitudes, se transforman recorridos de medición en señales eléctricas, que se hacen visibles en un indicador de escala o de cifras.



Figura 1-74. Aparatos de medición con escala indicadora e indicador numérico.

PRINCIPIO DE LA MEDICIÓN INDUCTIVA DE LONGITUDES

Un dispositivo de medición se compone de varios instrumentos que se hacen cargo de diferentes misiones. El **palpador** toma la medida por medio de un vástago y emite una señal —la señal de medición— que es elaborada en el instrumento de medición siguiente.

En el palpador inductivo existen dos bobinas en conexión diferencial, acopladas con una tercera bobina inductiva, alimentada con una tensión alterna entre 1 y 30 kilociclos. En las bobinas 1 y 2 (bobinas secundarias) se induce una tensión.

Si unido al vástago de medición se introduce en las bobinas 1 y 2 un núcleo de ferrita, el desplazamiento de ese núcleo varía la inductividad de las bobinas y con ello la tensión diferencial inducida en ambas. La tensión se amplifica, se rectifica y se indica con un voltímetro contrastado en μm. La variación de la inductividad de las bobinas es una medida del recorrido del vástago. Los instrumentos se componen de uno o dos palpadores de medición y el instrumento indicador. El intervalo de medición puede estar entre 0,3 y 5 mm, siendo el valor mínimo de la escala de 0,01 μm. El sistema de bobinas está ubicado en el palpador. El amplificador, el rectificador y el indicador eléctrico se encuentran en el instrumento indicador.

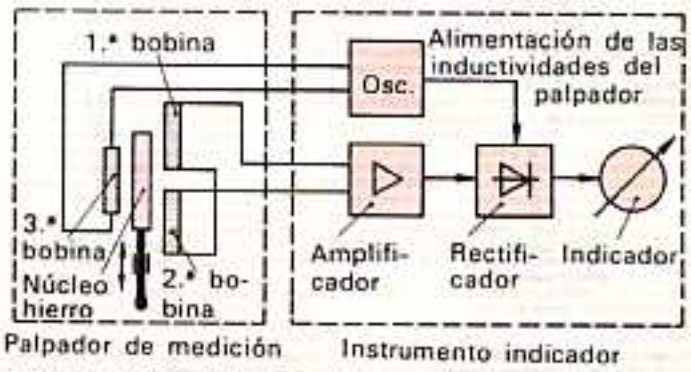


Figura 1-75. Principio de la medición inductiva de longitudes.

INDICACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL

En la indicación **analógica**, la medida se representa por un ángulo α barrido por una aguja, o por el recorrido s. Al variar la medida varía también la oscilación de la aguja.

En la indicación **digital**, la medida aparece en forma de cifra.

Ejemplos:

Los termómetros y los tacómetros tienen por lo general indicación analógica, y el cuentakilómetros del automóvil indicación digital.

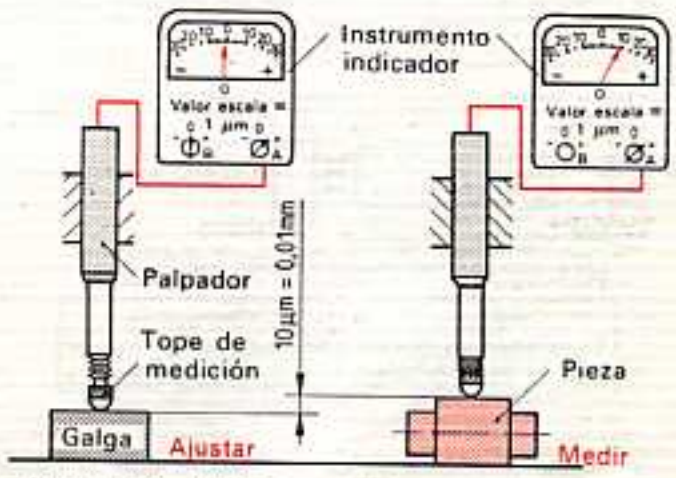


Figura 1-76. Mediciones únicas con el palpador.

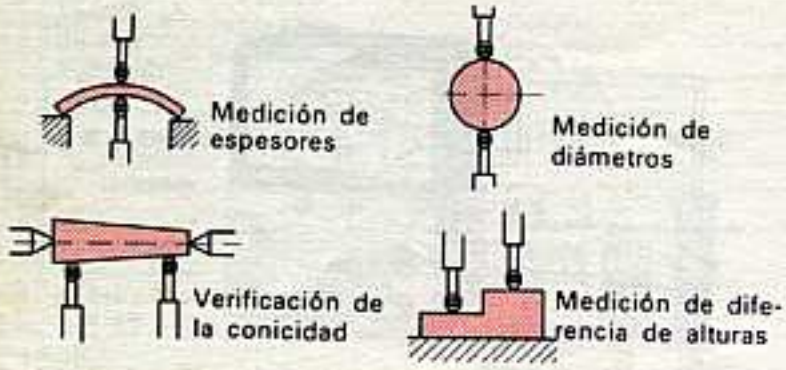


Figura 1-77. Mediciones suma y diferencia.



Figura 1-78. Calibre de forma.



Figura 1-79. Calibre de cotas.

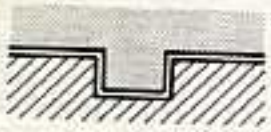


Figura 1-80. Calibre de ajustes.

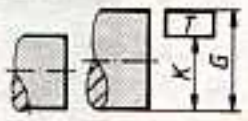


Figura 1-81. Calibre de tolerancias.

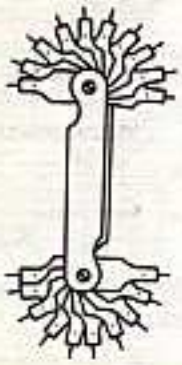


Figura 1-82. Calibre de inyectores.
Para comprobar orificios de inyectores

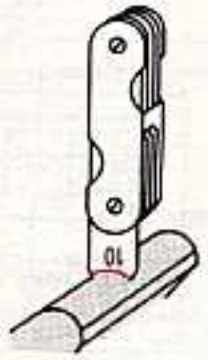


Figura 1-83. Calibre de superficies redondeadas.
Para determinar los radios de las piezas

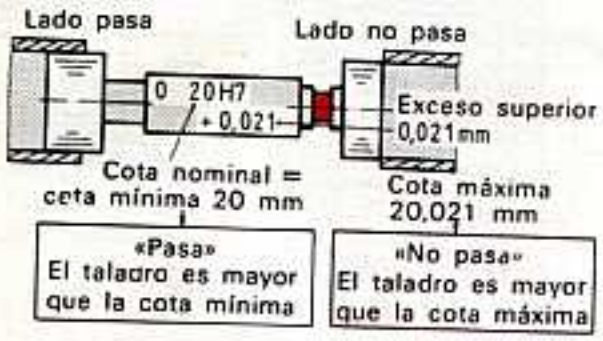


Figura 1-84. Verificación de un taladro con el calibre macho.

MEDICIÓN ÚNICA, MEDICIÓN SUMA, MEDICIÓN DIFERENCIA

Para mediciones directas de piezas cilíndricas y planas se emplea un palpador inductivo especial. Su aplicación es idéntica al caso de los comparadores de precisión mecánicos. Con dos palpadores se indica la suma de las desviaciones recogidas por los dos palpadores inductivos conectados.

Este método evita la aparición de errores de posición en la medición de espesores, y de errores de redondez en la medición de diámetros.

En el caso de medición de diferencias se indica la diferencia de los valores determinados por los dos palpadores inductivos conectados.

1.2.6 Verificación con calibres

CALIBRES DE FORMA Y CALIBRES DE COTAS

Los calibres son medios de verificación que materializan una cota o una forma.

Con el **calibre de forma** se verifica la forma prevista de una pieza. Calibres de forma son, p. ej., ángulos, falsas escuadras, calibres de radios y calibres de redondeamientos.

Con los **calibres de cotas** se verifican longitudes, p. ej., ranuras, taladros y mortajas. Los calibres de cotas se componen siempre de un juego en el que en cada calibre va incrementándose la cota.

Medios de verificación son, p. ej., las galgas, calibres de exteriores, calibres para espesores de chapas, calibres de interiores y calibres para inyectores.

Con los **calibres de ajuste por parejas** se verifica si las piezas funcionan en cuanto al ajuste. Así puede estar bien la guía en cuanto a forma pero no funcionar el ajuste por no estar recta.

Con los **calibres de tolerancias** se verifica si el valor real del objeto está dentro de la tolerancia.

CALIBRES DE TOLERANCIAS

En la fabricación, las piezas tienen siempre pequeñas diferencias con las cotas establecidas. En un taladro de diámetro nominal 20 se acepta la cota como correcta si la cota de fabricación es como máximo 20,021 mm y como mínimo 20,000 mm, por lo que todos los taladros con diámetro superior a 20,021 son «rechazos», y todos los que están entre 20,021 y 20,000 son «buenos». Los taladros por debajo de 20,000 deben retaladrarse. Las diferencias admitidas en taladros y ejes se verifican con calibres de tolerancias. Estos calibres tienen dos cotas fijas:

El lado bueno se designa «pasa», y el lado de rechazo con «no pasa» y color rojo. La cota nominal y las diferencias están grabadas en el calibre.

Los **calibres machos** son calibres para cotas interiores y en el lado «no pasa» tienen un diámetro superior al del lado «pasa». El macho o vástago debe entrar en el taladro por el lado «pasa», mien-

tras que el lado «no pasa» debe como máximo apuntar. El lado no pasa tiene sólo los 2/3 de la longitud del lado pasa.

Los **calibres de herradura** son calibres para cotas exteriores y en el lado «pasa» tienen la cota mayor.

Los **calibres de fabricación** se emplean para verificar una pieza durante la fabricación.

Los **calibres de revisión** se utilizan para el control propio de la pieza fabricada. En el lado «pasa» sus cotas deben estar más cerca del límite de desgaste que las cotas de los correspondientes calibres de fabricación.

Los **calibres de recepción** se emplean para la recepción de la pieza por el cliente. Sus cotas deben diferenciarse de las de los calibres de revisión, y admitir el desgaste total de los límites válidos para el desgaste de los calibres de fabricación.

Los **calibres de verificación** se utilizan para verificar los calibres de fabricación. Si el calibre a verificar es regulable, entonces el calibre de verificación se emplea como calibre de reglaje.

La **tolerancia de fabricación** H y el **desgaste** admitido **A** dependen de la magnitud de la cota nominal y del número distintivo de la calidad.

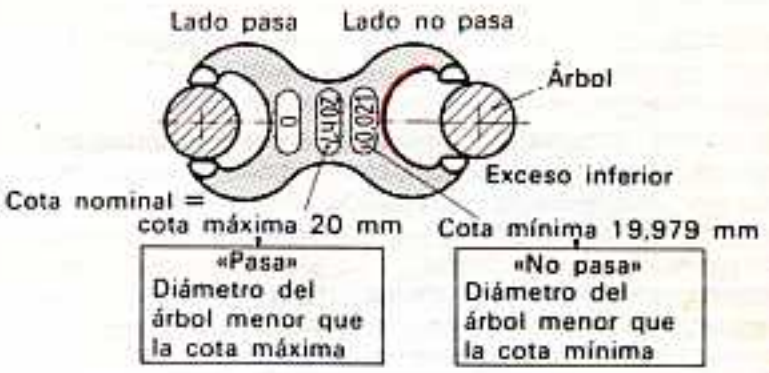


Figura 1-85. Verificación de un árbol con el calibre de tolerancias.



Figura 1-86. Precisión de fabricación y desgaste admitido en los calibres de tolerancias.

1.3 Medios de verificación de angulos

1.3.1 Verificación con calibres de ángulos fijos

Los ángulos se verifican con calibres de ángulos fijos (escuadra de acero, escuadra de filo, escuadra de talón, galga angular, etc.), y se miden con instrumentos de medición de ángulos móviles (transportador de ángulos universal, nivel para ángulos, cabezal divisor, mesa circular, etc.) o bien con elementos patrones especiales (galgas).

UNIDADES PARA ÁNGULOS

De acuerdo con el sistema de unidades SI, la magnitud de un ángulo plano se define como la relación del arco al lado, tomando éste como radio de la circunferencia trazada desde el vértice sobre la cual se mide el arco.

Como unidad se toma el ángulo plano para el cual la relación de longitudes «arco a radio» vale 1. Esta unidad se llama radián (símbolo: rad).

Ejemplo: $s = 1\text{ m}$, $r = 1\text{ m}$; $1\text{ rad} = \frac{s}{r} = \frac{1\text{ m}}{1\text{ m}} = 1$

En la técnica, para verificar ángulos se emplea el grado con el minuto y el segundo como submúltiplos. Para la subdivisión de la curcunferencia se considera preferentemente que tiene 360°.

Dependencia entre radián y grado

Ángulo completo:
1 ángulo completo $= 2\pi\text{ rad} = 360°$

Ángulo recto: $1\angle = \frac{\pi}{2}\text{ rad} = 90°$

Grado: $1° = \frac{2\pi\text{ rad}}{360} = \frac{\pi}{180}\text{ rad} = \frac{1\angle}{90}$

Minuto: $1' = \frac{\pi}{10800}\text{ rad} = \frac{1°}{60}$

Segundo: $1'' = \frac{\pi}{648000}\text{ rad} = \frac{1'}{60}$

Radián: $1\text{ rad} = \frac{360°}{2\pi} = 57{,}2°$

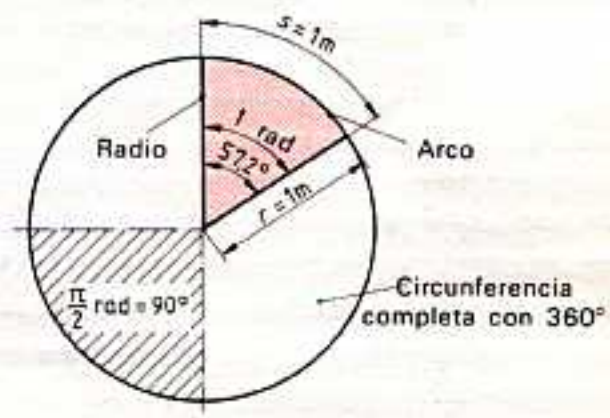


Figura 1-87. Radián y grado.

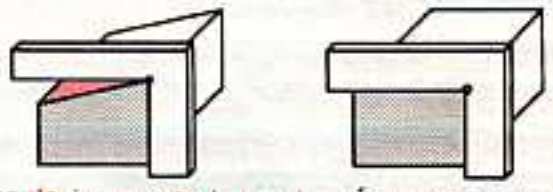


Figura 1-88. Escuadra plana

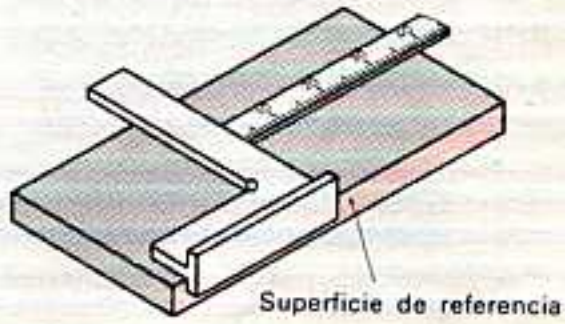


Figura 1-89. Escuadra de talón.

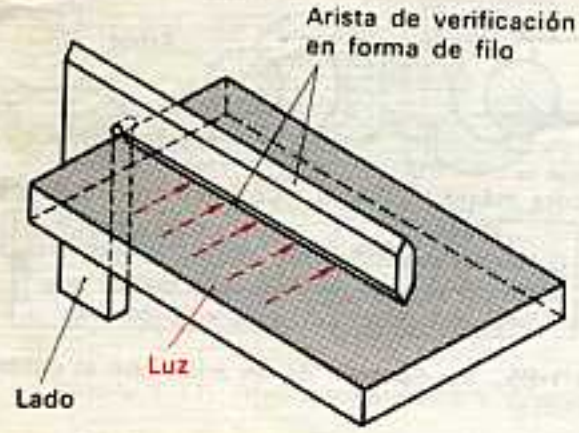


Figura 1-90. Escuadra de filo.

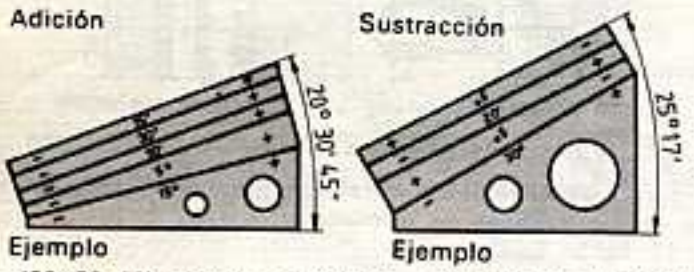


Figura 1-91. Galgas angulares.

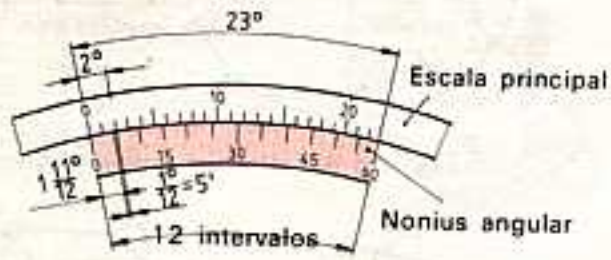


Figura 1-92. Nonius angular.

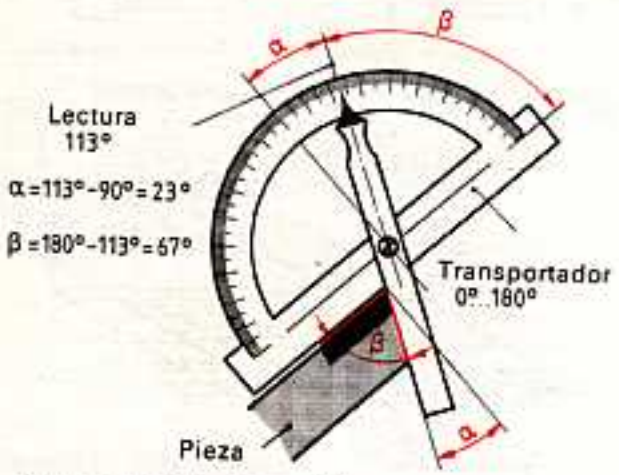


Figura 1-93. Lectura del transportador.

ESCUADRAS FIJAS (DE ÁNGULO FIJO)

Como escuadras fijas se emplean en fabricación las de acero, de 90°, 60°, 45° y 120°. Según DIN, las escuadras de acero de 90° se dividen en escuadras planas (forma A), escuadras de talón (forma B) y escuadras de filo (forma C).

Con ella, se verifica la posición de las aristas y superficies de la pieza. Cuando se verifica la fabricación, debe existir una superficie plana mecanizada de la pieza que sirva de superficie de referencia.

La **escuadra de talón** resulta muy adecuada para verificar el ángulo y la cota cuando hay que trazar una arista de plegado. La distancia de la línea trazada a la arista de referencia de la pieza, se verifica con la regla.

Con la **escuadra de filo** se determina el ángulo y el estado superficial. La verificación se hace por el procedimiento de la rendija de luz. Si se enfrentan la superficie mecanizada de la pieza y la superficie de verificación, y se ponen a la luz, se observa una rendija. Cuanto más uniforme sea la rendija de luz, tanto más precisa será la angularidad.

GALGAS ANGULARES

Las galgas angulares son de acero y pueden acoplarse por fricción como las galgas paralelas. Se emplean para verificar calibres, herramientas y piezas, para ajustar máquinas y útiles, para trazar y para trabajos de división.

Un juego grande se compone de
6 galgas de 1, 3, 5, 15, 30, 45 grados
5 galgas de 1, 3, 5, 20, 30 minutos
5 galgas de 1, 3, 5, 20, 30 segundos
Campo de medición desde 0° hasta 90°, de 1 en 1 segundos.

1.3.2 Verificación con instrumentos de medición de ángulos

Con los calibres para ángulos se puede determinar la angularidad de las superficies, y con los transportadores de ángulos el valor de éstos.

TRANSPORTADORES INDICADORES

El **transportador** más sencillo es el de patilla en forma de aguja, regulable a lo largo de una escala de 0° a 180°. La inseguridad de medición es de 1 grado (1°).

Con el **transportador universal** pueden realizarse mediciones con una inseguridad de 5 minutos (5'). El transportador universal se compone de un carril fijo y otro móvil. La escala circular principal está subdividida en 4 veces 90° y sirve para leer ángulos enteros. El nonius angular se compone de un arco de 23°, subdividido en doce partes iguales.

Cada subdivisión de la escala del nonius vale $23°/12 = 1° 55'$, y cada dos subdivisiones de la escala principal 2°.

Entre ambas divisiones existe por tanto una diferencia de $2° - 23°/12 = 1°/12$ ó $60'/12 = 5'$ (cinco minutos).

Regla de lectura: se cuentan los ángulos enteros en la escala principal desde 0° ó 90°, hasta el cero del nonius angular. Se sigue en el mismo sentido por el nonius y se busca la posición en la cual una subdivisión de la escala principal coincide con una subdivisión del nonius. Esta subdivisión indica las veces que hay que añadir 1°/12 = 5′ a la lectura en grados enteros.

Medición de ángulos agudos y ángulos obtusos

En la lectura de ángulos agudos la medida es igual al valor leído.

Los ángulos obtusos miden entre 90 y 180°.

En la medición de ángulos obtusos, la medida del ángulo es:

Medida = 180° − valor de la lectura

Con el **nivel de burbuja** puede determinarse la posición horizontal o vertical. El tubo está ligeramente abombado y lleno de éter, excepto una pequeña burbuja, que se coloca siempre en la parte más alta del tubo. Su posición puede leerse en una escala graduada.

Ejemplo:

1 subdivisión corresponde a una desviación de 0,2 mm sobre 1 m. Para una desviación de por ejemplo 3 subdivisiones, la superficie de la pieza está inclinada respecto a la horizontal o vertical:

$$\tan \alpha = \frac{0{,}6 \text{ mm}}{1\,000 \text{ mm}} = 0{,}0006;\ \alpha = 2' \text{ inclinación}$$

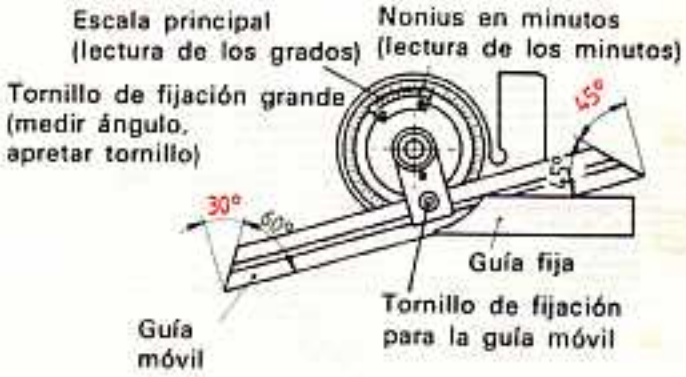


Figura 1-94. Transportador universal.

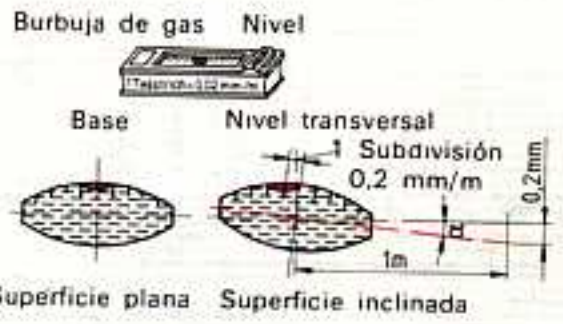


Figura 1-95. Nivel.



Figura 1-96. Medición de un ángulo agudo.

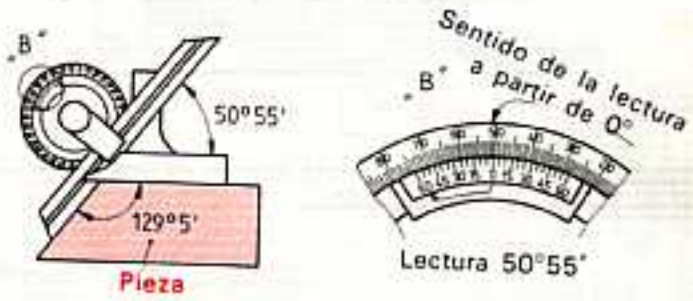


Figura 1-97. Medición de un ángulo obtuso.

Para realizar la verificación se coloca el nivel sobre una superficie plana horizontal y se gira 180°. La burbuja debe tener la misma oscilación en ambas posiciones.

NIVEL PARA ÁNGULOS

Este instrumento está provisto de un círculo divisor de cristal, de 120° y una graduación fina de 60′ por grado. La lectura de la graduación fina se hace mediante un microscopio de 40 aumentos. Un nivel longitudinal con una lectura de 30″ y 2 mm de recorrido de la burbuja, facilita el ajuste de la posición horizontal.

Forma de trabajo:

1. Ajustar el disco giratorio a 0°.
2. Colocar el instrumento sobre la mesa de medir y ajustar la posición horizontal con ayuda del nivel.
3. Colocar la pieza a medir sobre la mesa y el nivel sobre la pieza.
4. Girar el disco hasta que el nivel quede horizontal, y leer el ángulo con el microscopio.

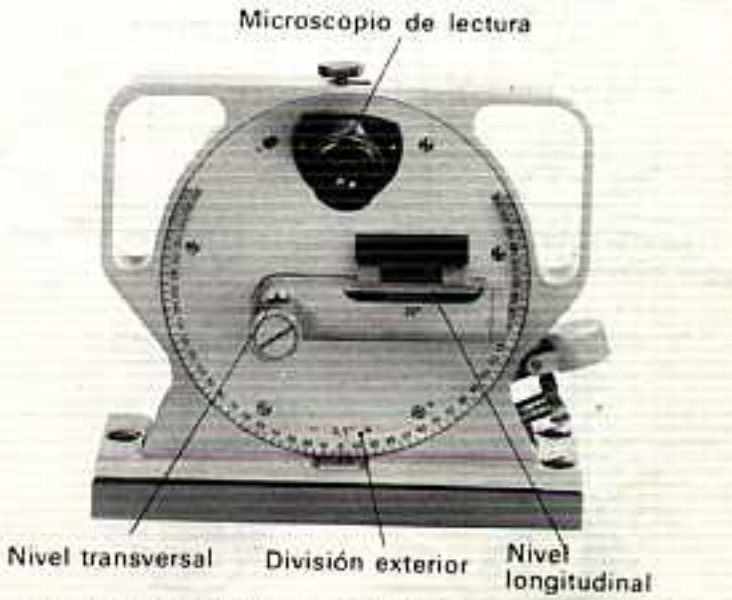


Figura 1-98. Nivel para ángulos, con microscopio.

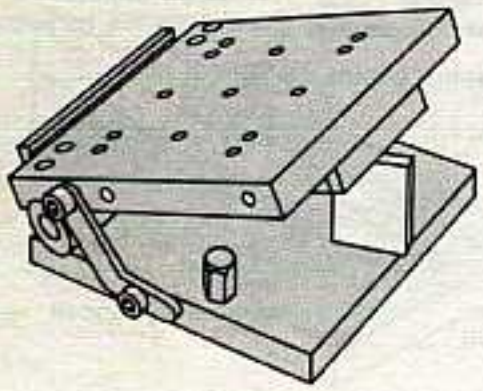
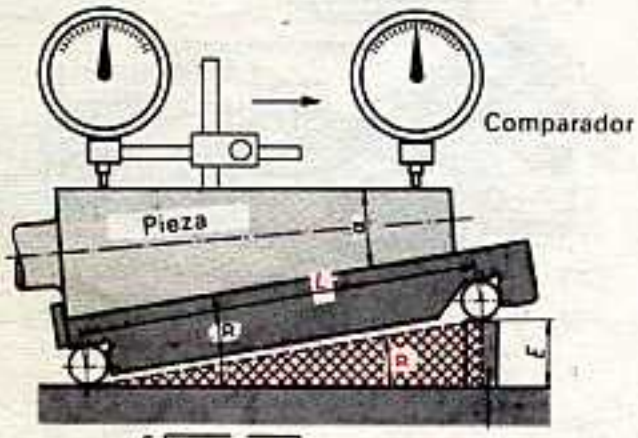


Figura 1-99. Mesa de senos.



$\text{sen}\alpha = \frac{E}{L}$ $\boxed{E = \text{sen}\,\alpha \cdot L}$

Figura 1-100. Verificación del ángulo de una pieza con regla de senos y comparador.

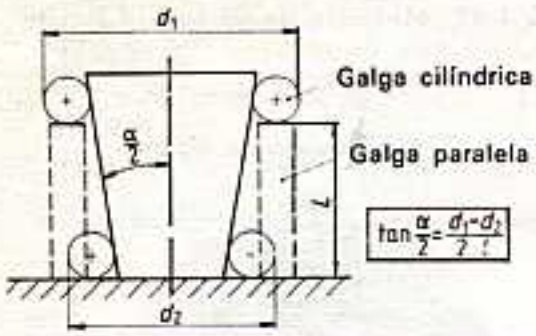


Figura 1-101. Medición de ángulos exteriores con galgas cilíndricas y paralelas.

TRANSPORTADORES DE ÁNGULOS GRADUABLES

La regla de senos es un transportador de ángulos regulable. El dispositivo medidor se compone de una regla que fija los dos rodillos de medición a una distancia conocida, p. ej., $L = 200$ mm, y una galga paralela E de cuya longitud depende el ángulo α. Con esta disposición puede ajustarse cualquier ángulo dentro de un intervalo determinado.

Ejemplo:

$L = 200$ mm, E (combinación de galgas) = 89,24 mm. Con esto se forma un triángulo rectángulo cuya hipotenusa tiene la longitud L y el cateto opuesto la altura E de la galga.

$$\text{sen}\,\alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Hipotenusa}};\quad \text{sen}\,\alpha = \frac{E}{L}$$

$$\text{sen}\,\alpha = \frac{89{,}24\text{ mm}}{200\text{ mm}} = 0{,}4462$$

$$\text{ángulo } \alpha = 26^\circ\,30'$$

Medición de conos con galgas cilíndricas y paralelas

Las dos galgas paralelas deben tener la misma longitud y las dos cilíndricas (cilindros, rodillos) el mismo diámetro.

Con la disposición de la figura (medición de conos exteriores) se tiene el semiángulo del cono $\frac{\alpha}{2}$.

Para el cálculo se emplea la función tangente, $\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}}$, donde el cateto opuesto puede expresarse por $\frac{d_1 - d_2}{2}$ y el cateto adyacente por la longitud L de la galga paralela.

Ejemplo: $d_1 = 60$ mm, $d_2 = 45$ mm, $L = 38{,}76$ mm

$$\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{d_1 - d_2}{2\,L};\quad \tan\frac{\alpha}{2} = \frac{60\text{ mm} - 45\text{ mm}}{2 \cdot 38{,}76\text{ mm}}$$

$$= 0{,}2178$$

$$\text{ángulo } \frac{\alpha}{2} = 13^\circ 17'$$

Limpiar la superficie de medición antes de verificar. — Proteger contra la suciedad, golpes y ácidos. — No retocar los defectos de la regla. — Ejercer siempre la misma fuerza al efectuar la verificación. — No verificar las piezas hasta que no se alcance la temperatura de referencia. — Para guardar la regla emplear trapos limpios o un lugar especial. — No colocar nunca la regla junto con las herramientas. — Después de utilizarla, limpiarla y engrasarla ligeramente.

1.4 Trazado de piezas

1.4.1 Instrumentos de trazar

Trazar es trasladar las cotas del plano a la pieza.

En el trazado se marcan sobre la pieza en bruto el contorno, las aberturas, los centros de taladros y las distancias entre esos centros.

Hay que tener en cuenta lo siguiente:
— suficiente precisión al trasladar las cotas,
— buena visibilidad de los trazos,
— no dañar la superficie de la pieza.

El trazado es un trabajo manual preciso que ocasiona grandes gastos.

El trazado se emplea en la construcción de herramientas, calibres y útiles y en la fabricación de piezas sueltas antes de la mecanización.

En la fabricación en serie las piezas ya no se trazan, puesto que las máquinas herramientas se ajustan con exactitud y se programan automáticamente. Para un gran número de piezas se emplean dispositivos o útiles, así como plantillas que facilitan el trabajo.

Instrumentos de trazar

Con la **punta de trazar** o con el **gramil** se trazan líneas rectas. Para trazar aristas de corte en materiales metálicos se emplea generalmente una **punta de trazar de acero** con la punta templada, y con un ángulo de 10 grados aproximadamente. Para materiales duros se emplean puntas de trazar de **una aleación de cobre y cinc** (latón), con el fin de no dañar la superficie. También se utilizan para aristas de plegado a fin de evitar la entalladura. Las líneas se ven debido al rozamiento. Para chapas delgadas y trazados que no dañen a los materiales blandos (aluminio) se emplea un lápiz.

Las cotas se toman del patrón, siempre que la regla no esté combinada con el instrumento de trazar, como en el gramil o el trazador de alturas.

Con el **compás de puntas** se trasladan las cotas o las circunferencias a la pieza. Se pueden emplear compases de puntas con o sin dispositivo de fijación. Con las puntas cerradas, éstas deben tocarse. Para distancias grandes se emplea el compás de varas.

Con la **escuadra de centrar**, la escuadra de cruz y el **granete**, se trazan rápida y exactamente los centros de ejes y taladros.

Sin necesidad de trazado previo puede granetearse el centro de un eje con la ayuda de una campana de centrar. Su forma cónica hace posible utilizarla para ejes de diferentes diámetros.

Con el **gramil** se trazan líneas paralelas al plano del mármol de trazar. La altura de la punta se ajusta con la ayuda de una regla graduada.

El **mármol de trazar** es una placa de fundición gris con nervios de refuerzo. Debe colocarse horizontalmente. Para la exactitud del trabajo es muy importante que la superficie del mármol sea impecable. A menudo es necesario colocar primero la pieza sobre el mármol en la posición correcta. Para ello se emplean soportes y elementos de nivelación (prismas para apoyar piezas cilíndricas, bases de rodillos y tornillos niveladores).

Proceso de trazado

Trazado con plantilla

Al fabricar piezas en grandes cantidades o piezas de forma complicada, se emplean para trazar plantillas o piezas tipo, las cuales se colocan sobre la pieza a trazar y luego se sigue el contorno con la punta de trazar. Para colocar la plantilla deben emplearse dos puntos de fijación.

Al trazar hay que tener en cuenta:

La punta de trazar debe deslizarse libremente a lo largo de la regla, la escuadra de trazar o la plantilla. Con la punta fijada al gramil pueden

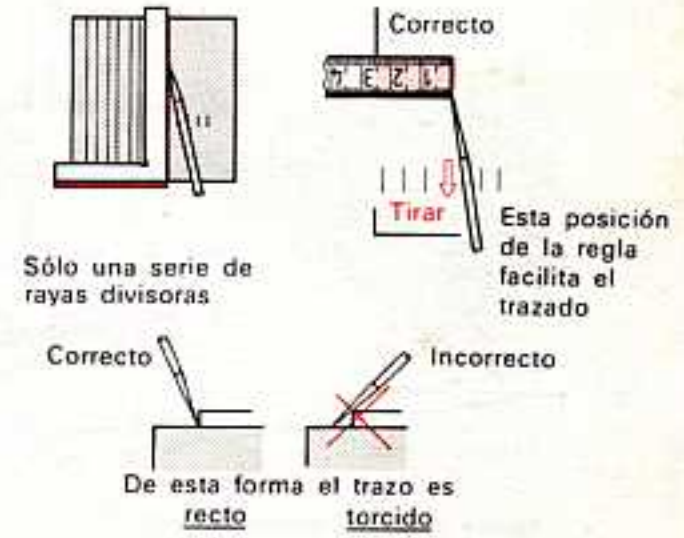


Figura 1-102. Marcado de rayas paralelas.

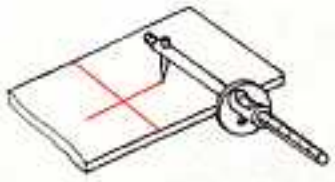


Figura 1-103. Trazado con gramil.



Figura 1-104. Trazado con compás.



Figura 1-105. Marcado de circunferencias.
En el trazado de circunferencias la presión se ejerce en el brazo apoyado en el centro de rotación.

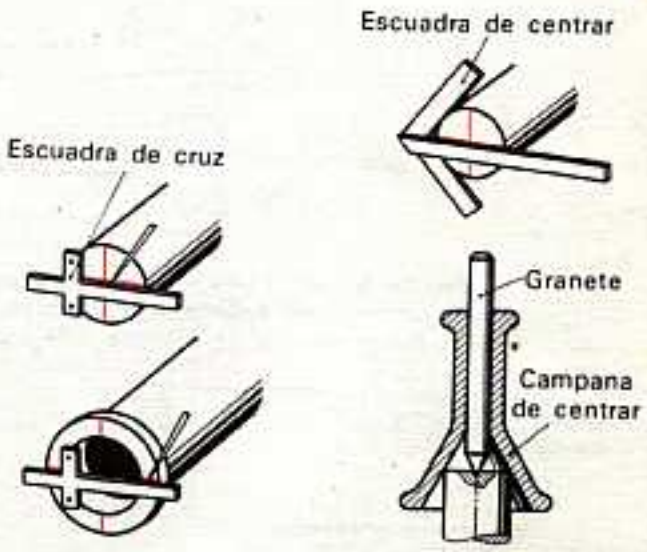


Figura 1-106. Centrado de ejes y taladros.

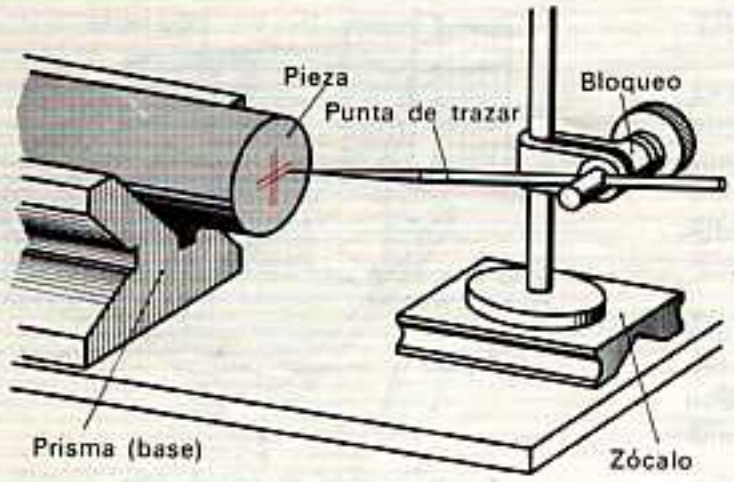
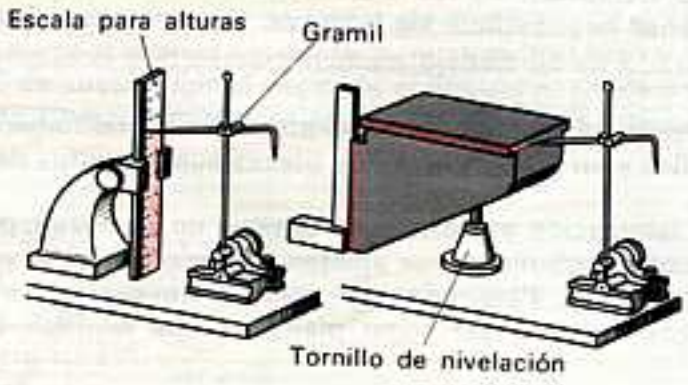


Figura 1-107. Trazado en el mármol.
Marcado de un eje con prisma y gramil, para determinar el centro.



Ajuste de la cota con la escala para alturas, y traslado a la pieza

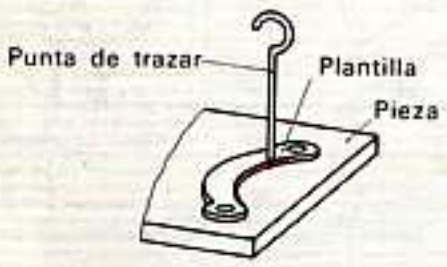


Figura 1-108. Trazado con plantilla.

trazarse líneas paralelas al plano del trazado o a la arista de la pieza. Con el gramil hay que tener cuidado de que la aguja quede corta y esté bien sujeta.

Las líneas o trazos deben ser lo más finos posible, pero claros. En las piezas de fundición y de forja se da fucsina a la superficie (aceite teñido de rojo). Los metales ligeros se pintan generalmente con laca de trazar negra o roja. A las piezas para máquinas que ya han sufrido un mecanizado de desbaste, se les aplica una pintura azul o se las colorea con una pasta de trazar, y también se cobrean previamente con una solución de sulfato de cobre. Antes de trazar debe alisarse la superficie, con el fin de que el trazo sea bien visible. Para trazar se parte de una línea de referencia (eje) o de una arista.

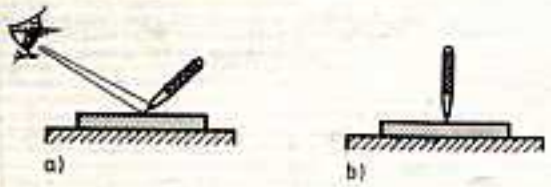


Figura 1-109. Graneteado correcto.
a) Colocar el granete inclinado de forma que se vea el centro.
b) Colocar el granete vertical y granetear.

Graneteado

Las líneas pueden marcarse con granetazos de control (las líneas largas rectas a grandes intervalos, y las de recorrido variable a intervalos más cortos entre granetazos). La punta del granete debe tener un ángulo de 30 a 40°. Los granetes para corte con soplete tienen un ángulo de 60° a 75°.

Los granetes para taladros tienen un ángulo de 90° y se emplean para ensanchar los granetazos de trazado, con el fin de guiar la broca. Los agujeros por taladrar deben llevar circunferencias y puntos de granete de control con fines de verificación.

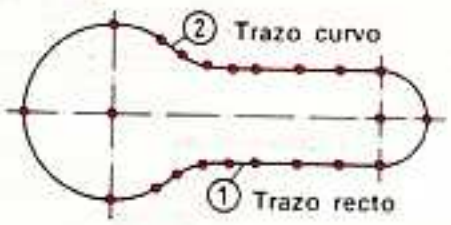


Figura 1-110. Puntos de granete para comprobación.
1) Graneteado a distancias grandes.
2) Poner puntos de granete más cerca.

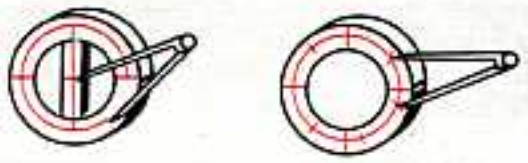


Figura 1-111. Trazado de divisiones para orificios.
Si no existe centro en el taladro de la pieza a trazar, se coloca un taco de madera como base del compás.

Ejercicio de trazado

Reflexiones preparatorias

— Leer el plano de la pieza y determinar las aristas de referencia.

— Medir la pieza semiacabada y en caso necesario limar en forma plana o angular la superficie de referencia.
— Preparar los instrumentos de trazar (punta de trazar, compás, regla graduada y escuadra de talón).
— Decisión sobre la eventual aplicación de una laca de trazar.
— Elección del granete (granete de trazar o granete de taladrar).
— Preparación de una base de apoyo para marcar con el granete (base plana o prismática).

Realización técnica

— Marcar todas las cotas partiendo del borde *A*. Dibujar todas las líneas paralelas a *A*; sólo en las proximidades de los puntos de intersección.
— Trazar el eje *B*. Dibujar todas las líneas paralelas al eje *B*.
— Marcar con el granete los centros de las circunferencias y dibujarlas.
— Dibujar las líneas de unión.
— Marcar el ángulo de 90° en los puntos de intersección de las líneas de plegado y dibujar líneas paralelas a 5 mm de distancia de la línea de plegado.

Útiles

Los útiles hacen posible la fijación rápida y exacta de las piezas. Pueden construirse con piezas normalizadas, perfiles, placas base y escuadras. Las escuadras deben tener una planicidad y angularidad exactas.

Para fijar las piezas se emplean bridas de tensión mecánicas o bridas roscadas, así como elementos neumáticos e hidráulicos.

La nivelación correcta de la pieza respecto de la herramienta se consigue mediante pasadores, bulones, topes y prismas. La figura muestra un ejemplo de útil de fijación para taladrar perfiles angulares. Al comparar los costes de fabricación de piezas fabricadas manualmente una a una, con los de las fabricadas en serie, hay que tener en cuenta la influencia de diversas magnitudes.

1. Por debajo de un número determinado de piezas el coste con útiles es mayor que sin ellos. Algunas causas de esto son: el coste de la fabricación de los útiles, el valor del utillaje y la adaptación al sistema de fabricación.
2. Por encima de un número determinado de piezas, los útiles suponen un ahorro. Algunas causas de ello son: almacenamiento más corto debido a la reducción del tiempo de recorrido de las piezas. Menores costes de mano de obra y máquinas por el acortamiento de los tiempos por pieza. Intereses más bajos por el incremento del tiempo útil de las máquinas. Disminución de los costes de herramientas al emplear un menor número de medios de verificación y de herramientas de trazar.

Hay que tener en cuenta:

No quemar la punta de trazar afilándola. — Sujetar fijamente la punta de trazar en el gramil, y de forma que quede corta. — Llevar la punta de trazar a lo largo de la arista inferior de la regla. — Evitar los trazos dobles. — Los trazos no deben desaparecer al limar en desbaste. — No utilizar el mármol como placa de enderezar.

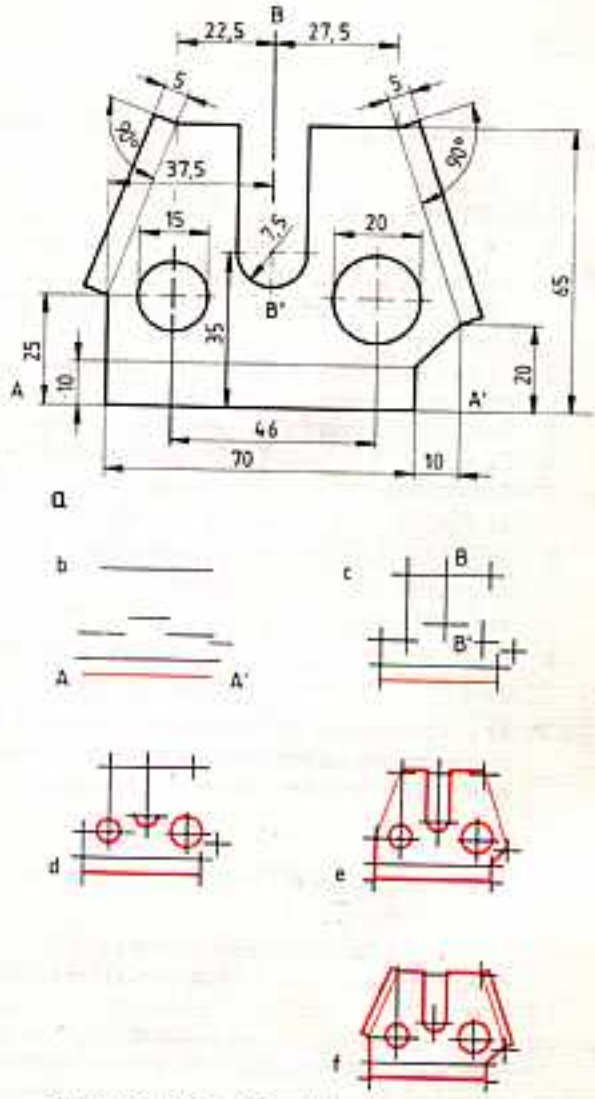


Figura 1-112. Ejercicio de trazado.

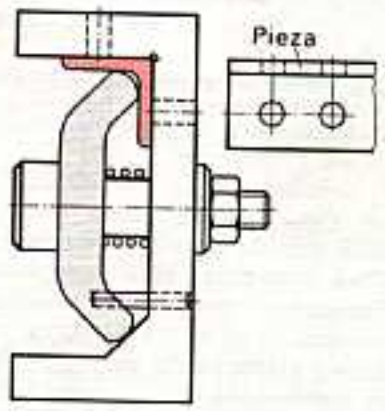


Figura 1-113. Útil para taladrar angulares de acero.



Figura 1-114. Influencia de los útiles en los costes.

Ejercicios

Fundamentos

Magnitudes, unidades, símbolos

1. De una pieza se conocen las siguientes dimensiones:
   $l = 250$ mm, $m = 0{,}65$ kg, $T = 303$ K
   ¿Qué magnitudes y unidades fundamentales se indican de esta forma?
2. ¿A qué magnitudes fundamentales están asignadas las unidades fundamentales kilogramo (kg), segundo (s) y metro (m)?
3. Definir la unidad fundamental «metro».
4. Convertir las siguientes magnitudes físicas en múltiplos decimales:
   a) 200 cm, b) 40000 kg, c) 35 dam
5. Convertir las siguientes magnitudes físicas en submúltiplos decimales de las unidades:
   a) 0,0005 mm, b) 0,06788 m, c) 0,000040 g
6. Expresar las siguientes longitudes en mm:
   0,03 m; 0,06 dm; 0,45 cm; 0,0007 m; $^1/_8$"; $^1/_4$"
7. El diámetro de un bulón de acero es de 18,91 mm y se aumenta por galvanizado (capa protectora de cromo) a 18,95 mm. ¿Qué espesor tiene la capa protectora en μm?

Operaciones de verificación, conceptos de metrología, errores de medición

8. De un redondo deben cortarse 812 piezas cilíndricas de 150 mm de longitud cada una. ¿Qué verificaciones deben realizarse en la pieza?
9. Ordenar los siguientes instrumentos de medición en *a*) patrones, y *b*) instrumentos indicadores: escala graduada, transportador de ángulos, galgas angulares, tornillo micrométrico, galgas paralelas, pie de rey.
10. Definir la diferencia entre medición y calibrado.
11. Dar un ejemplo de medición directa y otro de medición indirecta.
12. Una cota de fabricación es $50^{+0,2}_{-0,1}$
    a) Determinar la cota máxima, la cota mínima y la diferencia (tolerancia).
    b) Decisión, si la medida es 50,4 mm.
13. Un plano indica como medida teórica una longitud de 20,5 mm. La cota real puede desviarse un 1% de la teórica. ¿Qué longitudes están admitidas?
14. Explicar un proceso de medición indirecta empleando un compás. Indicar las posibles causas de error.
15. En un instrumento de medición se distingue:
    a) subdivisión de la escala, valor mínimo de la escala y medida,
    b) Intervalo de indicación e intervalo de medición.
    Diferenciar estos conceptos.
16. ¿Qué es la inseguridad en el resultado de una medición?
17. ¿Qué se entiende por «error de medición»?
18. Citar las causas del error de medición.
19. Explicar la diferencia entre errores sistemáticos y accidentales.
20. Citar las causas de error más importantes.
21. Describir el principio metrológico que se cumple en un tornillo micrométrico de herradura y que no se cumple en un pie de rey.
22. Describir el error de lectura denominado «paralaje».
23. ¿Dónde y cómo se producen errores del instrumento?
24. ¿Qué pueden producir los errores de posición?
25. La temperatura de referencia de una galga es 20°C. ¿Qué valor de medición indica con una temperatura superior?
26. ¿Cómo pueden evitarse los errores debidos a la influencia del calor?
27. ¿Qué ocurre si la fuerza que se ejerce al medir es demasiado grande o demasiado pequeña?
28. Las superficies de medición de los pies de rey y tornillos micrométricos pueden desgastarse por una manipulación inadecuada. ¿Qué error de medición puede presentarse y cómo determinarlo?
29. La verificación de un tornillo micrométrico con una galga dio como resultado: galga de 20,000 mm, valor medido con el micrómetro 20,010 mm.
    Indicar el error de medición y decir si se trata de un error accidental o sistemático.
30. Los instrumentos de medición deben colocarse perpendicularmente a la superficie de la pieza. Explicar el motivo.
31. ¿Por qué no debe emplearse ningún comparador de precisión para mediciones vastas?

Medios para verificación de longitudes

Verificación con elementos patrón

32. ¿Qué se entiende por patrones?
33. Las escalas graduadas son elementos patrones, los pies de rey son instrumentos indicadores. Explicar por qué.
34. Explicar la diferencia entre galgas cilíndricas y galgas paralelas.
35. Opinar sobre:
    a) Manejo de las galgas paralelas.
    b) Composición de una combinación de galgas.
36. Componer con un juego de galgas que consta de las 26 piezas siguientes:

    1,001 hasta 1,009;
    1,01/1,02/1,03/1,06
    1,1/1,2/1,3/1,6
    1/2/3/6
    10/20/30/60/100 mm

    las siguientes cotas:

    a) 6,387 mm
    b) 38,45 mm
    c) 60,002 mm
    d) 74,026 mm
    e) 100,13 mm
    f) 16,445 mm

    empleando el mínimo de piezas.
37. ¿En qué cota debe ser más pequeño el juego de galgas empleado que el diámetro de un taladro a medir, si se utiliza un portagalgas con patas de medición semirredondas como calibre?

Verificación con instrumentos indicadores

38. Explicar la diferencia entre los pies de rey de la forma A y los de la forma B.
39. ¿Qué mediciones pueden realizarse con los pies de rey?
40. ¿A qué pueden atribuirse los errores de medición con el pie de rey?
41. Citar las posibilidades que existen de verificar los límites de error de un instrumento de medir longitudes.
42. La subdivisión del nonius puede ser de 1/10 mm, 1/20 mm ó 1/50 mm. ¿Cómo explicar estos diferentes valores?

43. Dibujar para la medida 24,5 mm, la lectura de un pie de rey con nonius de 1/10 con una ampliación de 10 a 1.
44. ¿Cómo influye la fuerza aplicada al pie de rey, en el resultado de la medición?
45. ¿Qué se entiende por tolerancia libre?
46. Para la cota nominal 40 mm y un grado de precisión medio, determinar las desviaciones admitidas así como las cotas máxima y mínima.
47. Para un ángulo de 20° y un grado de precisión vasto, o sea con tolerancia libre, determinar el ángulo máximo y el mínimo admitidos.
48. Hacer un esquema del principio técnico de un tornillo micrométrico con escala de 1/100 mm.
49. Indicar las fuentes de error que pueden presentarse al medir con un tornillo micrométrico de herradura.
50. Fundamentar los errores representados en la figura 1-54 cuando se mide con un tornillo micrométrico para interiores.
51. ¿Con qué dispositivo se mantiene constante la fuerza de medición en un tornillo micrométrico de herradura?
52. Razonar la aparición de errores en la medición cuando las superficies de medición están sucias; la temperatura de la pieza está por encima de la temperatura de referencia.

Verificación con comparadores de precisión y con instrumentos neumáticos y electrónicos

53. Describir la importancia de la transmisión en los comparadores de precisión.
54. Explicar la forma de actuar de un comparador de precisión con barra, muesca y filo.
55. ¿Por que deben tener una carrera libre los comparadores de precisión?
56. Explicar la diferencia entre el comparador de precisión con multiplicación combinada de palanca y rueda dentada y el comparador con multiplicación por fleje tensor.
57. Explicar la transmisión de un comparador de precisión con palpador mecánico y amplificación eléctrica.
58. ¿Qué ventajas reporta la medición múltiple?
59. ¿Cómo se constituye una medición múltiple?
60. ¿Qué ventajas tienen los instrumentos de medición neumáticos?
61. Describir el procedimiento de medición por presión.
62. Describir el procedimiento de medición por diferencia de presiones.
63. Describir el procedimiento de medición por volumen.
64. Describir el procedimiento de medición por velocidad.
65. La medición de longitudes con instrumentos electrónicos se hace por medio de una cadena de medición.
    a) Citar cada uno de los instrumentos.
    b) Explicar la diferencia entre indicación analógica y digital.
    c) Explicar un principio de medición de longitudes.
66. Citar ejemplos de medición única, medición suma, y medición diferencia con instrumentos electrónicos para longitudes.

Verificación con calibres

67. Explicar la diferencia entre calibres de forma y calibres de cotas.
68. ¿Qué puede verificarse con los calibres?
69. ¿Cómo es posible determinar el «pasa» o «no pasa» al emplear un calibre de tolerancias (calibre de exteriores o de interiores)?
70. ¿Qué significa la marca roja en los calibres de tolerancias?
71. ¿Cómo debe ser la fuerza de verificación cuando se trabaja con calibres de tolerancias?
72. ¿Qué ocurre si un calibre de exteriores se aprieta con una fuerza superior a la admitida contra el eje a medir?

Medios para verificación de ángulos

73. Definir la unidad angular radián e indicar la dependencia entre grado y radián.
74. En las escuadras de acero de 90° se distingue la forma A, la foema B y la forma C. Detallar estas escuadras e indicar su aplicación.
75. Con un juego de galgas angulares formado por:
    6 galgas de 1 ' 5, 15, 30, 45 grados
    5 galgas de 1, 3, 5, 20, 30 minutos
    5 galgas de 1, 3, 5, 20, 30 segundos,
    componer las siguientes cotas angulares:
    a) 63° 15' 35"
    b) 17° 45' 12"
    c) 38° 0' 5"
    d) 88° 12'
    e) 10° 37' 38"
    f) 0° 16' 17"
76. Explicar la inseguridad de medición de 5' con un transportador de ángulos universal.
77. ¿Qué dice la regla de lectura para los transportadores universales?
78. ¿Qué es un nivel de ángulos?
79. ¿De acuerdo con qué principio trabaja una regla de senos?
80. ¿Por qué se designa la regla de senos como un transportador regulable?
81. Con una regla de senos ha de ajustarse un ángulo de 14° 10', $L = 200$ mm. ¿Qué combinación de galgas E es necesaria?
82. Describir la medición de conos con galgas cilíndricas y con galgas paralelas.

Trazado de piezas

83. ¿Qué finalidad tiene el trazado?
84. ¿Por qué y en qué casos se traza con lápiz o con la punta de latón?
85. ¿Cómo se preparan las piezas para que los trazos sean bien visibles?
86. ¿Por qué se parte, al trazar, de aristas de referencia?
87. Citar las herramientas de trazar más importantes y dar ejemplos de su aplicación.
88. Inscribir en unas circunferencias de diámetro 60, un cuadrado, un octágono, un triángulo, un hexágono, un pentágono y un heptágono.

2 Materiales

2.1 Propiedades de los materiales

2.1.1 Propiedades físicas



Subdivisión de los metales de acuerdo con criterios técnicos

1. **Densidad**: metales ligeros y metales pesados (límite ≈ 4,5 g/cm³).
2. **Punto de fusión**: Metales de bajo punto de fusión (por debajo de 1 000°C); metales de punto de fusión medio (entre 1 000 y 2 000°C); metales de punto de fusión alto (por encima de 2 000°C).
3. **Estabilidad química**: Metales nobles, p. ej., oro, plata, platino, y metales no nobles, como hierro, cinc, aluminio, etc.
4. **Significado para la industria**: Metales férreos y metales no férreos.
5. **Elaboración** (obtención de brutos, conformación, separación y ensamblaje): materiales fundibles y materiales maleables.

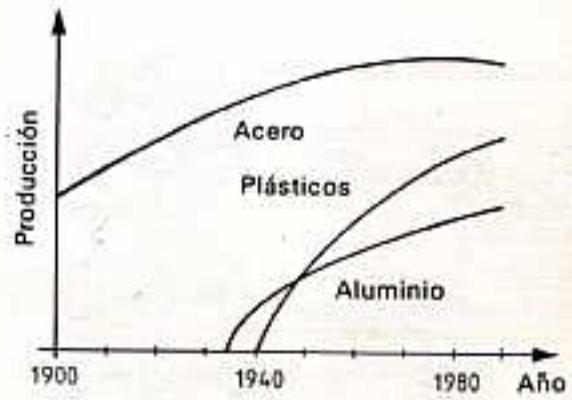


Figura 2-1. Disponibilidad de los materiales.
Los primeros materiales los encontró el hombre en la naturaleza (materiales naturales). Eran productos animales (lana, seda, cuero, cuerno), vegetales (madera, resina) o minerales (cristales, piedras, arcilla). Los materiales industriales actuales se obtienen generalmente de forma sintética (acero, metales ligeros, plásticos). Los componentes son substancias básicas que se encuentran en la corteza terrestre o en la atmósfera. La figura muestra el crecimiento de los plásticos, así como la importancia de los materiales metálicos.

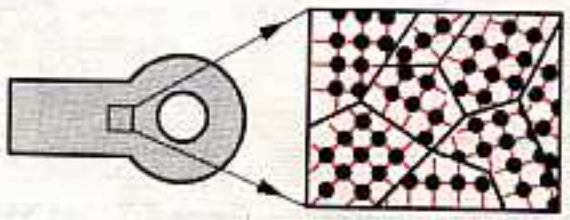


Figura 2-2. Cuerpo sólido.

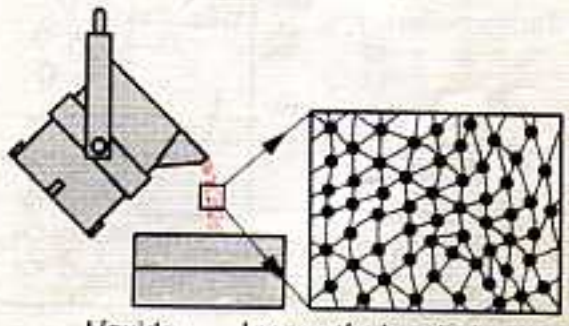


Figura 2-3. Líquido.

CUERPOS Y SUS ESTADOS DE AGREGACIÓN

Por cuerpo se entiende en física toda cantidad limitada de una substancia, por ejemplo, una placa de plástico, una pieza de acero

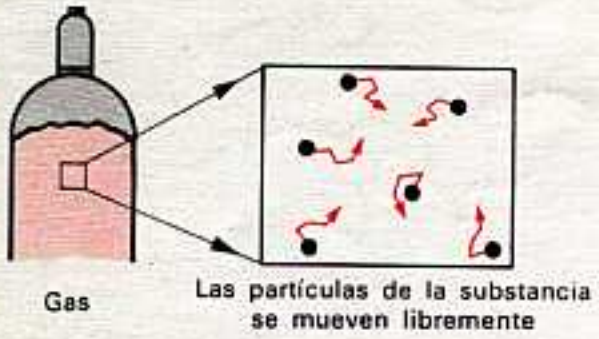


Figura 2-4. Gas.

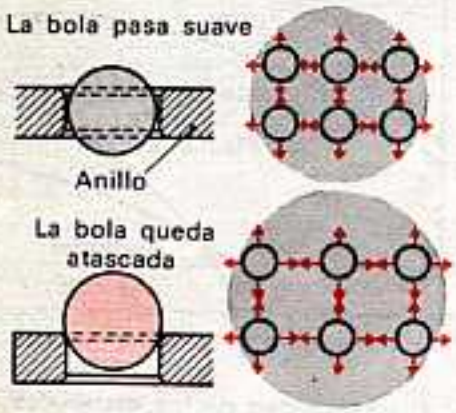


Figura 2-5. Los cuerpos sólidos se dilatan al calentarlos.

redondo, una cantidad de agua o ácido en un recipiente, una cantidad de hidrógeno o acetileno en una botella de cristal. Se habla de **cuerpos sólidos** (plástico, acero), de **líquidos** (agua, ácido) y de **gases** (hidrógeno, acetileno).

Los **cuerpos sólidos** tienen una forma y un volumen determinados. La forma del cuerpo puede modificarse por la acción de fuerzas, p. ej., por doblado, recalcado y prensado, permaneciendo el volumen casi invariable.

Las partículas más pequeñas (átomos/moléculas) están muy juntas en una posición fija, la cual no pueden abandonar por sí mismas. Ni siquiera aplicando grandes presiones pueden separarse.

Los **líquidos** no tienen forma determinada y toman la del recipiente que los contiene, formando una superficie casi horizontal. Por presión tampoco puede reducirse apenas el volumen de un líquido.

Las partículas más pequeñas pueden desplazarse fácilmente, así como separarse.

Los **gases** no tienen forma y se reparten uniformemente en el espacio de que disponen.

Las partículas están completamente libres, se mueven sin ningún orden y se encuentran a distancias relativamente grandes entre sí.

DILATACIÓN POR EL CALOR

Ensayo: La bola de acero de la figura puede pasar suavemente por el anillo a la temperatura ambiente. Si se calienta a unos 300°C queda retenida en el anillo.

Ensayo: Se calienta una cantidad de líquido y otra de gas. La dilatación, a igual aportación de calor, es notablemente mayor que en los cuerpos sólidos.

Al aumentar la temperatura, los cuerpos se dilatan en todas direcciones y adquieren un volumen mayor.

Observación: Toda substancia se compone de partículas (átomos o moléculas) que se encuentran en un continuo estado de movimiento. En los cuerpos sólidos se trata de un movimiento de ida y vuelta alrededor de un punto fijo; en los cuerpos líquidos y gaseosos el movimiento es libre y desordenado, y en los gases incluso especialmente vivo.

Al aportarse calor aumenta la energía dinámica de las partículas, con lo que éstas tienden a apartarse de su posición de equilibrio, la textura de la substancia pierde consistencia y el cuerpo se dilata.

Al enfriar un cuerpo sólido se hace más lenta la oscilación de las partículas, y el cuerpo se contrae. Casi todas las substancias se contraen al enfriarse. La fundición de hierro, p. ej., se contrae en un 1% de su longitud inicial, en todas direcciones, al enfriarse después de la colada.

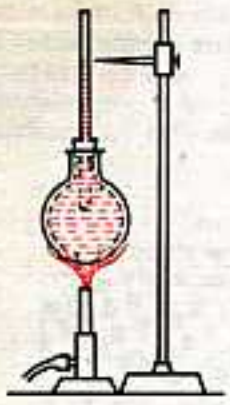


Figura 2-6. Los líquidos se dilatan al calentarlos.



Figura 2-7. Los gases se dilatan al calentarlos.

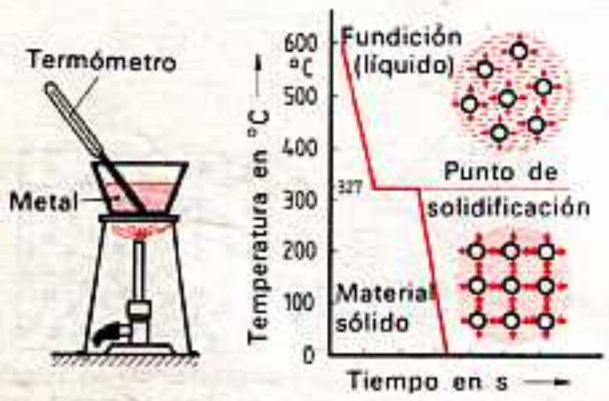


Figura 2-8. Fusión y solidificación del plomo.

TEMPERATURA DE FUSIÓN — TEMPERATURA DE SOLIDIFICACIÓN

Ensayo: En dos crisoles de acero se calientan plomo y estaño. A una determinada temperatura —su temperatura de fusión— (plomo: 327°C; estaño: 232°C), ambos cuerpos pasan al estado líquido.

Ensayo: Se enfrían los metales líquidos plomo y estaño. En un punto determinado para cada uno (temperatura de equilibrio) la temperatura se mantiene al principio constante durante un cierto tiempo. Durante este tiempo se solidifica el material. A continuación la temperatura sigue descendiendo uniformemente.

La temperatura de fusión y la temperatura de solidificación son iguales.

Observación: mediante calentamiento hasta la temperatura de fusión, la energía dinámica de las partículas de un cuerpo sólido se hace tan grande que ya no pueden volver a su estado de equilibrio. La unión sólida se rompe y el cuerpo se vuelve líquido.

Al enfriar un cuerpo líquido, la energía dinámica de las partículas disminuye, volviendo poco a poco a la unión sólida. En este proceso se desprende calor, de forma que la temperatura permanece constante un corto intervalo de tiempo. La temperatura al inicio de la solidificación se llama temperatura o punto de equilibrio. En las substancias no cristalinas, como el vidrio, no existe este tipo de punto de fusión.

TEMPERATURA DE EBULLICIÓN — TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN

Ensayo: En una probeta se calienta mercurio líquido. A la temperatura de ebullición (357°C) el metal se convierte en gas, pero en el borde superior de la probeta se deposita de nuevo en forma de líquido, es decir se condensa.

Observación: A causa del calentamiento, las partículas adquieren, hasta alcanzar el punto de ebullición, una energía dinámica de tal magnitud que abandonan la unión líquida e irrumpen en el espacio, es decir el líquido se evapora.

MASA, PESO, DENSIDAD

Tener masa es una propiedad de toda materia. Esto se explica por la cantidad y tipo de partículas de que se compone el cuerpo. La masa se exterioriza por la resistencia del cuerpo a los cambios de su estado de movimiento.

Ejemplo:

Un cuerpo permanece en reposo en tanto no actúe sobre él alguna fuerza. En el caso de arranque súbito (figura), el cuerpo bascula. Esto explica la resistencia (inercia) de la masa.

Como unidad de masa se emplea un cilindro de una aleación de platino e iridio que se conserva en París, de 39 mm de diámetro y 39 mm de altura (volumen $V = 46{,}44\ cm^3$). Su masa se designa por 1 kg (un kilogramo). La masa de un cuerpo se determina comparándola con cuerpos de masa conocida (pesas de la balanza). La comparación de masas puede hacerse con la balanza de brazos.

Ejemplo:

La masa de una pieza es $m = 2$ kg.

Peso. Todo cuerpo es atraído por la masa de la Tierra con una fuerza F_G. Esta fuerza se mide en N (newton). La unidad de masa (el kilogramo) posee, debido a esa atracción, un peso de 9,81 N.

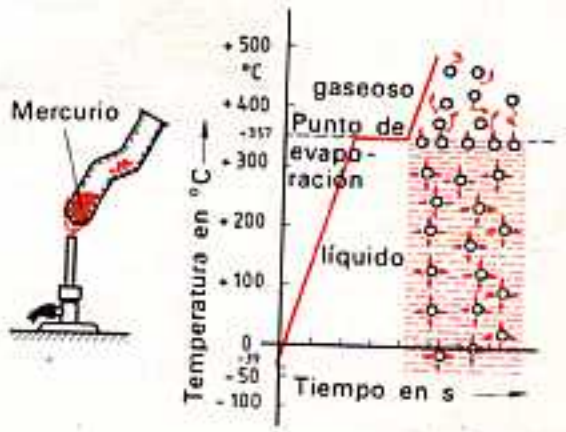


Figura 2-9. Ebullición y evaporación del mercurio. (Temperatura de fusión −38,9°C)

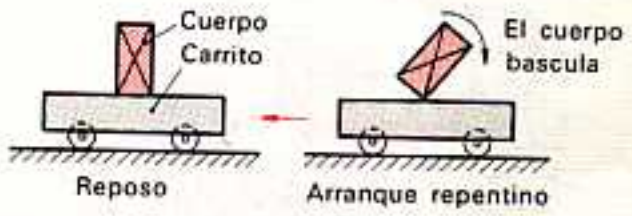


Figura 2-10. La masa se exterioriza por la inercia.

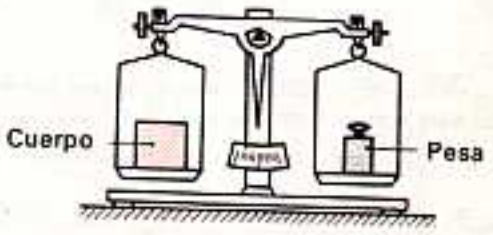


Figura 2-11. Determinación de la masa por comparación con otra contrastada.



Figura 2-12. El peso de un cuerpo depende del lugar.

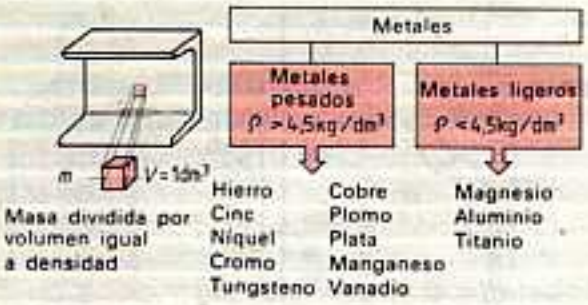


Figura 2-13. Densidad de los materiales.

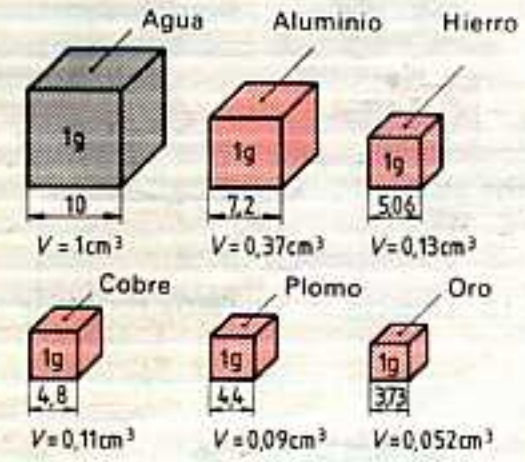


Figura 2-14. Los cuerpos de distintas substancias tienen diferente volumen a igualdad de masa.



Figura 2-15. Los materiales poseen diversas propiedades tecnológicas.

Ejemplo:

Una persona con 75 kg de masa carga un ascensor con un peso de $F_G = 75\ kg \cdot 9{,}81\ N/kg = 736\ N$.

Fórmula: $F_G = m \cdot g$; $F_G = m \cdot 9{,}81\ \frac{N}{kg}$ (s. S. 88)

La magnitud de conversión g entre masa y peso,

$$g = 9{,}81\ \frac{N}{kg} = 9{,}81\ \frac{kg\ m}{s^2\ kg} = 9{,}81\ \frac{m}{s^2}$$

se llama aceleración de la gravedad.

Fundamento: la velocidad de caída de todos los cuerpos que caen libremente, aumenta a razón de 9,81 m/s cada segundo. La aceleración de la gravedad y el peso dependen del lugar y disminuyen al aumentar la distancia a la Tierra. Así resulta que un cuerpo situado en la Luna tiene 1/6 de su peso en la Tierra, a causa de la menor masa de aquélla.

La densidad caracteriza una substancia determinada.

Ensayo: Dos dados de metal de igual tamaño, de $V = 1\ cm^3$, están en equilibrio en una balanza. De esto se puede deducir que ambos son del mismo material.

Ensayo: Si se compara un dado de aluminio con otro de cobre, ambos de $V = 1\ cm^3$, colocándolos en una balanza, ésta ya no está en equilibrio. Comparando con pesas contrastadas se comprueba que el dado de aluminio tiene una masa de 2,7 g, y el de cobre de 8,9 g.

El cociente de la masa por el volumen de un cuerpo es su densidad (símbolo ρ, que se lee *ro*).

Ejemplo:

$m = 17{,}8\ kg,\ V = 2\ dm^3$

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \rho = \frac{17{,}8\ kg}{2\ dm^3} = 8{,}9\ \frac{kg}{dm^3}$$

Densidad de algunas substancias en kg/dm³

Metales		No metales (gases a 0°C)	
Magnesio	1,74	Aire	$1{,}29 \cdot 10^{-3}$
Aluminio	2,70	Oxígeno	$1{,}43 \cdot 10^{-3}$
Cinc	7,13	Nitrógeno	$1{,}25 \cdot 10^{-3}$
Hierro	7,86	Dióxido de carbono	$1{,}97 \cdot 10^{-3}$
Cobre	8,93	Acetileno	$1{,}17 \cdot 10^{-3}$
Plomo	11,35	Aceite	0,9
Oro	19,30	Madera de abeto	0,5

2.1.2 Propiedades tecnológicas y mecánicas

PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

Estas propiedades indican el comportamiento del material al trabajarlo.

Colabilidad. Se denominan colables los materiales que funden y pueden colarse en moldes a temperaturas rentables, p. ej. fundición gris, plomo, estaño y aleaciones de cobre.

Maleabilidad. Son maleables los materiales sólidos que, por la acción de fuerzas, admiten una variación plástica de la forma, con-

servando su cohesión, p. ej. en el recalcado, la embutición, el prensado, el plegado.

Mecanizabilidad. Se dice que son mecanizables por corte o arranque de virutas, aquellos materiales en los que, aplicando fuerzas tecnológicamente razonables, puede romperse la cohesión de las partículas.

Soldabilidad. Soldables son los materiales en los que, por unión de las substancias respectivas (soldadura por fusión o por presión) puede conseguirse una cohesión local.

La **templabilidad** indica que la dureza del material puede modificarse por transposición de partículas.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de un material describen su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas.

Resistencia de un material es su oposición al cambio de forma y a la separación. Las fuerzas externas que pueden presentarse como carga son: tracción, compresión, flexión, cizalladura y torsión. Toda fuerza externa genera en el material tensiones de acuerdo con el tipo de solicitación, p. ej. tracción y compresión.

Elasticidad y plasticidad son propiedades de cambio de forma, denominado plástico si el cambio es permanente y elástico si no es permanente.

Ensayo: Una chapa fijada por un extremo se dobla con una fuerza pequeña hasta que se observa una fuerte resistencia. Suprimiendo la fuerza, el material vuelve a su posición de partida.

Observación: Un material se deforma elásticamente cuando es sometido a la acción de fuerzas externas, y vuelve a su forma primitiva al dejar de actuar aquéllas.

Ensayo: Si una chapa fijada por un extremo se dobla más allá de su límite elástico, ya no recupera su posición inicial.

Observación: Un material se deforma plásticamente cuando experimenta un cambio permanente de forma debido a la acción de fuerzas externas.

La **fragilidad y la tenacidad** indican el comportamiento de un material bajo determinadas solicitaciones. Un material es **tenaz** si posee cierta capacidad de dilatación, y **frágil** si se rompe sin deformación permanente notable, p. ej. el vidrio y la fundición gris.

La **dureza** de un cuerpo se designa como la resistencia que opone a la penetración de otro cuerpo duro. En los materiales duros no se pueden marcar fácilmente huellas ni rayas (conformar o cortar). Los filos de las herramientas de corte, p. ej. cincel, sierra y broca, deben ser más duros que el material a trabajar. La dureza evita que las superficies que se tocan entre sí se desgasten rápidamente. Materiales duros son el acero templado, el metal duro, la fundición dura y el diamante.

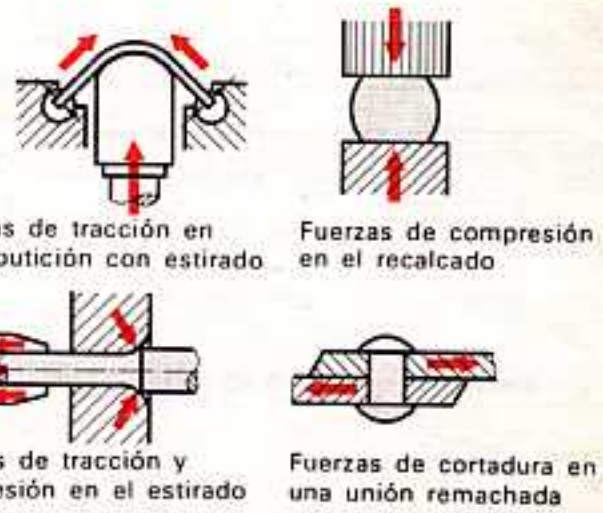


Figura 2-16. En la solicitación mecánica actúan fuerzas sobre el material.



Figura 2-17. Cambio de forma elástica y plástica en el doblado.

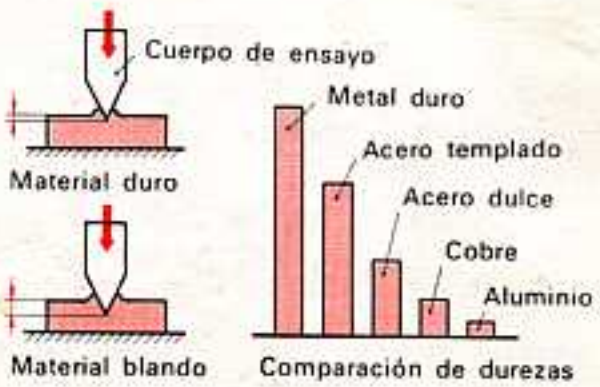


Figura 2-18. Dureza de los materiales.



2.1.3 Propiedades químicas

PROCESOS QUÍMICOS Y FÍSICOS

En los trabajos de taller se desarrollan procesos físicos, químicos y atómicos. En el proceso de soldadura representado en la figura se extrae oxígeno y acetileno de botellas de acero (proceso físico). El

acetileno se inflama y arde en presencia del oxígeno (**proceso químico**).

El calor de la combustión calienta el material a soldar y funde la varilla (**proceso físico**). A causa de la alta temperatura de trabajo, el material sufre un cambio de textura porque los enlaces atómicos se transponen (**procesos atómicos**).

Para comprender los procesos citados debe conocerse la estructura de los materiales y su comportamiento. Para ello deben hacerse diversas consideraciones sobre Química, Física y Física Nuclear.

En los **procesos químicos** se transforman substancias y se obtienen otras con propiedades distintas.

En los **procesos físicos** solamente tiene lugar un cambio de estado externo de las substancias (variación de la forma, de la resistencia y de la temperatura). Las substancias permanecen inalteradas.

La Física Nuclear es la ciencia que estudia la estructura y las propiedades de los átomos.

REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS ÁTOMOS

El investigador danés Niel Bohr (1885-1962) dio una imagen de la estructura de los átomos. Según él, el átomo es una especie de sistema solar inimaginablemente pequeño. El papel del sol, como centro, lo desempeña el núcleo del átomo, y los planetas son los electrones, que se mueven a gran velocidad alrededor del núcleo. Entre el núcleo atómico y los electrones existe un «espacio vacío». La masa del átomo está concentrada casi totalmente en el núcleo. Se compone de partículas cargadas positivamente, los **protones** (protón, del griego: lo primero creado) y de partículas sin carga eléctrica, los **neutrones** (de neutro). Los electrones son partículas cargadas negativamente, casi sin masa (un electrón pesa sólo 1/1836 del núcleo del átomo de hidrógeno).

Los electrones son atraídos por el núcleo atómico con carga positiva, pero repelen la atracción de forma que giran alrededor del átomo, en trayectorias elípticas, a gran velocidad. El átomo es eléctricamente neutro hacia el exterior, ya que la suma de las cargas negativas de la capa de electrones (suma de electrones) es igual a la carga positiva (suma de protones) del núcleo. El átomo de hidrógeno es el más sencillo. Se compone de un protón y de un electrón. La masa atómica viene determinada por el número de protones y neutrones del núcleo. El átomo de magnesio tiene 12 protones y 12 neutrones en el núcleo y 12 electrones en la envoltura. Los átomos son muy pequeños. Así, p. ej., el átomo de hierro tiene un diámetro de 2/10 000 000 mm ($2 \cdot 10^{-7}$ mm). En la cabeza de un alfiler de 1 mm de diámetro caben

$10^{20} = 100000000000000000000$ átomos de hierro

Los electrones se mueven alrededor del núcleo en diferentes capas más o menos alejadas del núcleo. También el número de electrones de cada capa es diferente. La capa más exterior —con excepción de la primera— puede admitir hasta ocho electrones. Una vez alcanzado este número máximo, se ocupa una nueva capa.

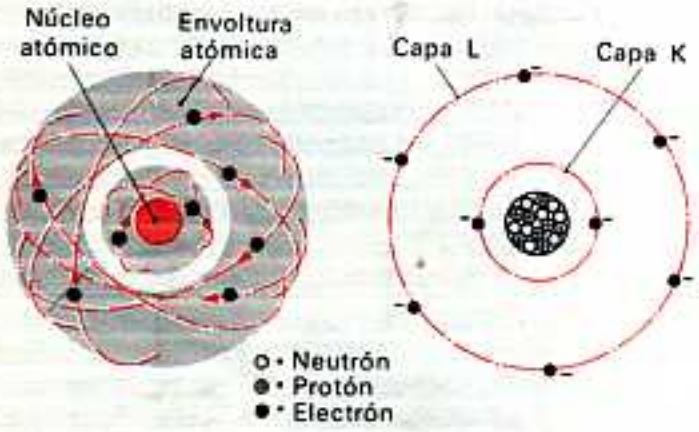


Figura 2-19. Modelo atómico simplificado del oxígeno.

ELEMENTOS

Todas las substancias de la Naturaleza, rocas, minerales, plantas, aire, agua, animales y también el cuerpo humano, están formados por

elementos. En la naturaleza se presentan 92 elementos a los que hay que añadir 13 sintéticos. No obstante, sólo 88 son estables.

Los elementos no exiten en igual cantidad en nuestro planeta. La Tierra y la envoltura atmosférica se componen aproximadamente de: 49% de oxígeno, 26% de silicio, 7,5% de aluminio; 5% de hierro; 3,5% de calcio; 2,5% de sodio; 2% de potasio; 2% de magnesio, 1% de hidrógeno, 0,1% de carbono; 0,05% de azufre; 0,04% de nitrógeno y otros elementos.

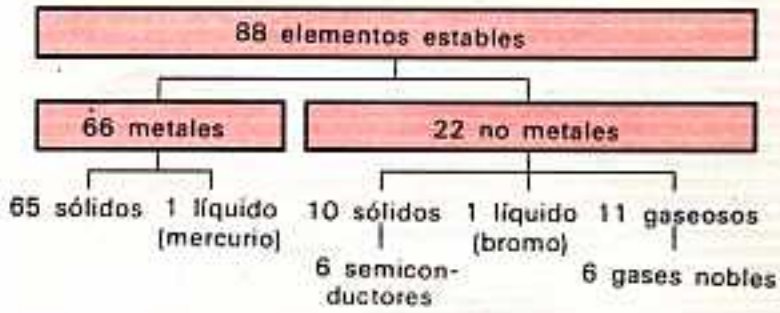


Figura 2-20. Subdivisión de los elementos (estado a 20°C).

SISTEMA PERIÓDICO DE LOS ELEMENTOS

Si se ordenan los elementos por el número creciente de protones (o lo que es igual, por su masa atómica creciente), resulta una serie en la que a cada elemento se le asigna un número de orden que corresponde a su número de protones.

Ejemplo para los tres primeros períodos (capa de electrones):

1 H							2 He
3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar

Dentro de la serie de elementos, un número determinado de los mismos tienen propiedades coincidentes.

El helio (2), el neón (10), y el argón (18) son gases nobles; el flúor (9) y el cloro (17) se combinan fácilmente con los metales; el oxígeno (8) y el azufre (16) forman parte de muchos minerales. Ordenando los elementos semejantes, se forma el sistema periódico de los elementos. Se obtienen de este modo siete filas horizontales (períodos) y ocho columnas perpendiculares (grupos).

SUBDIVISIÓN DE LOS ELEMENTOS

Los elementos químicos se subdividen en tres grandes grupos cuyas propiedades se diferencian entre sí: no metales, metales y gases nobles.

No metales. Hay 22 elementos que son no metales. Conducen mal la electricidad y el calor. Dos no metales importantes son el hidrógeno (H) y el oxígeno (O), ambos son gases y al combinarse forman el agua. Los cuatro elementos: flúor (F) —un gas amarillento; cloro (Cl) —un gas verde; bromo (Br) —un líquido marrón; yodo (I) —cristales sólidos, se designan bajo el nombre de halógenos (griego), que significa formadores de sales. Existen combinados en muchas sales.

De la misma forma se tiene el oxígeno (O) y el azufre (S) en el grupo de los que forman minerales, ya que se encuentran en muchos minerales metálicos

Biológicamente importantes son el hidrógeno (H), el fósforo (P) y el carbono (C). El carbono es un componente de todos los organismos vivos.

Los **gases nobles** son el helio (He), el neón (Ne), el argón (Ar), el criptón (Kr), el xenón (Xe) y el radón (Rn). Generalmente no se combinan con ningún otro elemento.

Metales. 66 elementos son metales. Son todos opacos y brillantes como consecuencia de la reflexión de la luz. Los metales son buenos conductores de la electricidad y del calor. Importantes metales pesados ($\rho \geq 4{,}5$ g/cm^3) son el hierro (Fe), el níquel (Ni), el cobre (Cu), el cinc (Zn), el estaño (Sn), el plomo (Pb), el mercurio (Hg) el oro (Au) y el platino (Pt).

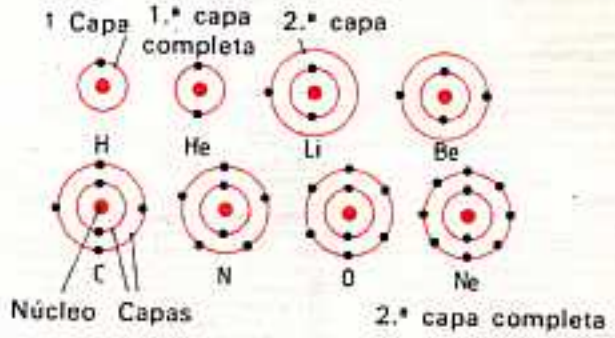


Figura 2-21. Estructura atómica de 8 elementos.

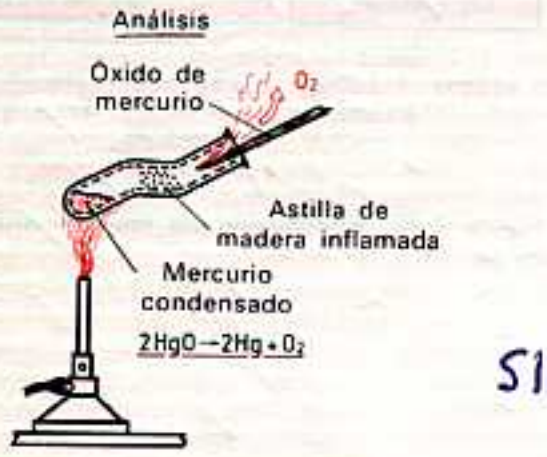


Figura 2-22. Al calentarlo el óxido de mercurio se descompone en mercurio y oxígeno.



Figura 2-23. El cobre y el azufre se combinan formando sulfuro de cobre.

A los metales ligeros ($\rho \leq 4{,}5$ g/cm³) pertenecen el sodio (Na), el potasio (K), el magnesio (Mg), el calcio (Ca), el aluminio (Al) y el titanio (Ti).

La mayor parte de los metales no son nobles, es decir, se combinan fácilmente más o menos con el oxígeno.

MEZCLAS Y COMBINACIONES QUÍMICAS

Ensayos: el polvo metálico y el polvo de carbón forman una mezcla negruzca. Por frotación en el agua o con un imán, es posible separarlos.

La mezcla de líquidos, la disolución de cuerpos sólidos y de gases en líquidos, la evaporación de líquidos y la fusión de metales son procesos físicos.

En las mezclas coexisten invariables varias sustancias. En una combinación química se obtienen substancias distintas con nuevas propiedades.

La combinación de dos o varios elementos para formar una substancia distinta, se llama **síntesis.**

Ensayo: Obtención de un compuesto químico partiendo del cobre y del azufre. Si se introduce una chapa de cobre en azufre líquido, se pone incandescente espontáneamente y se combina formando sulfuro de cobre. El compuesto resultante es quebradizo, de color gris y no conserva ninguna de las propiedades del cobre. Las combinaciones de los metales con el azufre se llaman sulfuros. La combinación en forma de mineral se llama pirita de cobre.

La descomposición de un compuesto químico en sus componentes se llama **análisis.**

Ensayo: Descomponer una combinación de mercurio y oxígeno. La combinación se presenta en forma de polvo rojo. Si se calienta una pequeña cantidad, se deposita en las paredes de la probeta mercurio líquido. El oxígeno se desprende en estado gaseoso, y su presencia puede demostrarse por la llamarada producida al acercar una viruta de madera incandescente.

Observación: La combinación se ha descompuesto químicamente. Estaba formada por los elementos mercurio y oxígeno.

Para formar un compuesto químico a partir de varios elementos, o para descomponerlo, hace falta energía. Puede ser calorífica, eléctrica o luminosa. A veces la reacción se produce ya a temperatura ambiente (oxidación).

ESTRUCTURA DE LAS COMBINACIONES DE ÁTOMOS

Los elementos cobre y azufre combinados en la proporción 8:4 dan sulfuro de cobre. Se pueden por tanto combinar 8 g de Cu y 4 g de S o también 0,8 g de Cu y 0,4 g de S. Se plantea ahora la pregunta de cuáles son las cantidades mínimas necesarias para que se produzca la combinación química. La Química determinó con sus métodos que la partícula más pequeña era el átomo (del griego atomos = indivisible).

El átomo es la partícula más pequeña de un elemento químico.

Los átomos poseen fuerzas de enlace químico con respecto a otros átomos. Así, por ejemplo, un átomo de cobre se combina con uno de azufre para formar una molécula de sulfuro de cobre.

La molécula es la partícula más pequeña de una combinación química.

Si una combinación química tiene que representarse en forma abreviada, se escriben únicamente los símbolos de los elementos que intervienen en la reacción. Se obtiene así una fórmula química, la cual indica los elementos que intervienen en la reacción y el número de átomos que participan en la misma.

En las ecuaciones químicas se escribe una flecha en lugar del signo de igualdad para indicar el sentido de la reacción.

Ejemplos:

Combinaciones de hierro y cobre con azufre

Fe	+	S	→	FeS
1 átomo de hierro		1 átomo de azufre		1 molécula de sulfuro de hierro
Cu	+	S	→	CuS
1 átomo de cobre		1 átomo de azufre		1 molécula de sulfuro de cobre

TENDENCIA DE LOS ÁTOMOS A ENLAZARSE

Las propiedades químicas del átomo dependen del número de electrones que se encuentran en la capa externa.

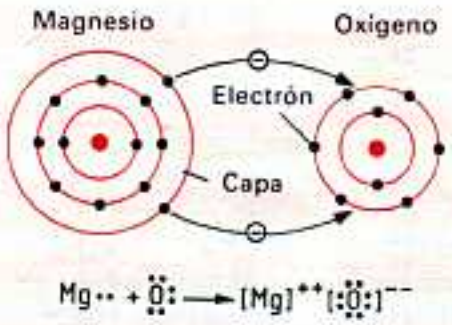
Los procesos químicos tienen lugar en la envoltura de electrones.

El átomo tiende a que la envoltura de electrones sea lo más estable posible, es decir, en la primera capa 2 y en las otras 8. Los metales tienen por lo general pocos electrones en la capa externa, el magnesio, por ejemplo, sólo 2 electrones en la tercera capa. El átomo intenta expelerlos con el fin de conseguir la capa estable de ocho.

ENLACE IÓNICO

El oxígeno tiene seis electrones en la capa externa, por lo que intenta robar a otro elemento los dos electrones que le faltan para conseguir la capa estable de ocho. Si un átomo de oxígeno se encuentra con un átomo de magnesio, los electrones exteriores del magnesio pasan al oxígeno. De esta forma el átomo de magnesio se convierte en un ion positivo, y el de oxígeno en un ion negativo. Como consecuencia del diferente signo de sus cargas, ambas partículas se atraen y se produce la combinación química.

De átomo eléctricos neutros se forman iones por adición o sustracción de electrones. Pueden ser eléctricamente positivos, como por ejemplo el Mg^{2+}, o eléctricamente negativos como el O^{2-}. También las moléculas pueden convertirse en iones por adición o sustracción de electrones.



Enlace iónico
Si se hacen reaccionar metales con no metales, se transmiten electrones. Los átomos de los metales se convierten en iones positivos, y los de los no metales en iones negativos.

Figura 2-24. Combinación del magnesio y el oxígeno.

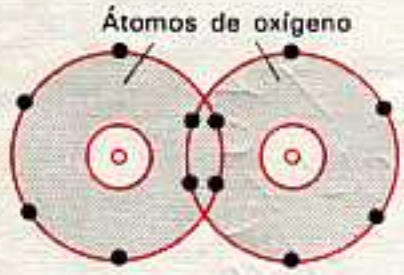


Figura 2-25. Molécula de oxígeno O_2.

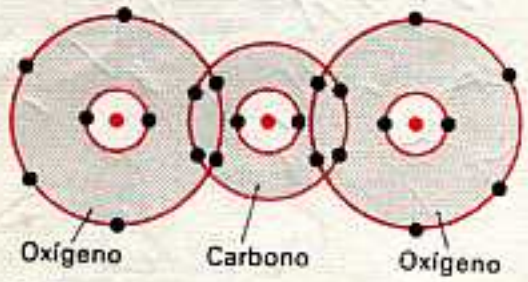


Figura 2-26. Molécula de dióxido de carbono CO_2.

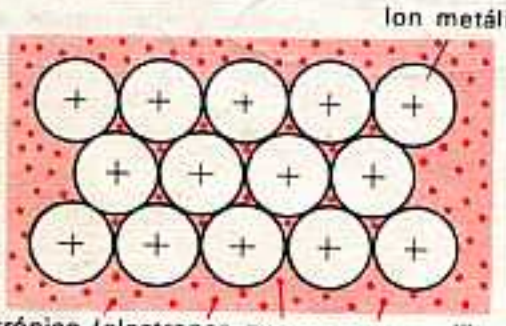


Figura 2-27. Representación esquemática del enlace metálico.

ENLACE ATÓMICO (enlace de pares de electrones)

Un enlace químico entre átomos no siempre tiene lugar con desprendimiento o aportación de electrones (ver combinación iónica en página 37). Principalmente en las combinaciones de no metales entre sí (plásticos), la envoltura externa de electrones del tipo de los gases nobles se obtiene compartiendo electrones dos átomos (par de electrones).

Los gases sobre todo (oxígeno, hidrógeno y cloro) no existen en estado atómico sino en estado molecular.

Ejemplo: Los átomos de oxígeno, combinados para formar la molécula de oxígeno, tienen dos pares de electrones comunes. La fórmula química de la molécula de oxígeno es por tanto O_2 y la de hidrógeno H_2.

Ejemplo: Los átomos de carbono y oxígeno que componen el dióxido de carbono tienen cuatro pares de electrones comunes.

ENLACE METÁLICO

Todos los átomos metálicos poseen en su capa externa pocos electrones, desprendiéndose de ellos para convertirse en iones metálicos positivos. Los iones metálicos son retenidos por los electrones negativos, pudiendo moverse con gran libertad entre los iones metálicos como un «gas electrónico» (ver pág. 389). Los electrones más activos condicionan las propiedades especiales siguientes de los metales:

Conductividad térmica: El calor pone a los electrones en agitado movimiento, que se transmite a otras partes del metal por su estructura cristalina.

DATOS SOBRE LOS METALES

Núm. de orden	Símbolo	Nombre	Densidad en g/cm³	Punto de fusión en °C	Punto de ebullición en °C	Breve descripción de los elementos
3	Li	Litio	0,53	180	1340	plateado brillante, aditivo en aleaciones
4	Be	Berilio	1,84	1285	2870	gris acero, muy duro, aditivo en aleaciones
11	Na	Sodio	0,97	97,7	883	blanco cera, blanco plata, marcadamente no noble
12	Mg	Magnesio	1,74	659	1097	el metal de consumo más ligero, baja dureza
13	Al	Aluminio	2,7	658	2270	metal ligero, muy maleable, colable
19	K	Potasio	0,86	63,5	776	blanco plata, muy blando, forma lejías
20	Ca	Calcio	1,55	850	1439	plata brillante, componente del mármol
22	Ti	Titanio	4,5	1690	3535	resistente al calor en aleación, anticorrosivo
23	V	Vanadio	5,7	1700	3000	resistente a los ácidos, para refinar el acero
24	Cr	Cromo	6,9	1766	2300	blanco plata, duro, quebradizo, recubrimientos
25	Mn	Manganeso	7,2	1221	2152	gris acero, no noble, para aleaciones
26	Fe	Hierro	7,86	1535	2880	en aleación muy transformable
27	Co	Cobalto	8,6	1490	3200	muy brillante, para aleaciones
28	Ni	Níquel	8,89	1455	3075	gris claro, tenaz para aleaciones y recubrimientos
29	Cu	Cobre	8,93	1084	2350	rojo, buen conductor del calor y la electricidad
30	Zn	Cinc	7,14	419,4	906	blanco plata, para cincado y aleaciones
42	Mo	Molibdeno	10,2	2600	aprox. 4800	refinador del acero, da resistencia y dureza al acero
46	Pd	Paladio	12,0	1554	3387	el metal platino más barato, forjable
47	Ag	Plata	10,5	960,5	1980	metal noble; joyería, monedas, cubiertos
48	Cd	Cadmio	8,64	321	767	emparentado con el cinc, aleación de Wood
50	Sn	Estaño	7,28	232	2630	blanco plata, blando, dilatable, soldadura blanda
51	Sb	Antimonio	6,7	630	1640	brillante, aditivo para soldadura blanda
73	Ta	Tántalo	16,65	3030	4100	blanco grisáceo, duro, tenaz, dilatable, resist. quím.
74	W	Tungsteno	19,1	3400	4727	duro, gris, resistente al calor, polvo sinterizado
78	Pt	Platino	21,45	1773	aprox. 4400	metal noble, color plata plomiza, joyería
79	Au	Oro	19,3	1063	2700	metal noble, blando, dilatable, resistente quím.
80	Hg	Mercurio	13,96	38,9	357	blanco plata, para barómetros
82	Pb	Plomo	11,34	327	1750	muy blando, soldadura blanda, para aleaciones

Conductividad eléctrica: Si se aplica tensión a un metal, los electrones se propagan por éste hacia el polo positivo de la fuente de tensión. Esta propagación de electrones se denomina corriente eléctrica.

COMBINACIONES CON EL OXÍGENO

El aire es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, gases nobles, dióxido de carbono y vapor de agua. Los metales y no metales suelen estar en contacto con el oxígeno del aire. El oxígeno se combina con muchos elementos y forma los óxidos.

Ensayo: Se calienta una chapa de cobre doblada varias veces. El metal conserva su brillo en el interior aunque se caliente a alta temperatura. En el exterior se forma una capa negra de óxido de cobre por la adición de oxígeno.

Ensayo: En una probeta se calientan unos gránulos de sal (permanganato potásico). La substancia desprende oxígeno, e inflama una astilla de madera incandescente en cuanto se acerca a la probeta.

Ensayo: Si se calienta una pequeña cantidad de polvo de magnesio, emite una llamarada y queda un polvo blanco de óxido de magnesio. Si se ha pesado previamente el polvo, con una nueva pesada puede comprobarse que la masa del plato derecho de la balanza es mayor debido a la adición de oxígeno.

Observación: El oxígeno es un gas pesable, incoloro, inodoro e insípido, que está presente en la naturaleza en grandes cantidades. El aire contiene aproximadamente el 21% de oxígeno en volumen. Casi el 50% de la masa de la corteza terrestre se compone de oxígeno, así como el 89% del agua. En las substancias sólidas y líquidas, el oxígeno se presenta principalmente combinado con ellas.

VALENCIA DE LOS ELEMENTOS

La capacidad de los átomos para unirse en moléculas se basa en las fuerzas atómicas de enlace. Si se combina un átomo de hidrógeno con un átomo de otro elemento, se dice que este otro elemento es **monovalente**. Si se combinan dos átomos de hidrógeno con uno de otro elemento, se dice que éste es **bivalente**.

Ensayo: En un tubo en U como el de la figura (disposición de Hofmann) hay agua acidulada. Si se aplica a los polos una tensión continua, en el cátodo (polo negativo) se acumula doble cantidad de gas que en el ánodo (polo positivo). Una prueba con la llama demuestra que en el cátodo se ha formado **hidrógeno** y en el ánodo **oxígeno**.

Observación: Dos partes de hidrógeno reaccionan con una parte de oxígeno para formar dos partes de vapor de agua. Partes iguales en volumen de varios gases contienen el mismo número de moléculas. Así se puede decir que 1 átomo de oxígeno forma 2 átomos de agua. El oxígeno es por lo tanto bivalente. El hidrógeno, en cambio, es siempre monovalente.

La valencia de un elemento indica con cuántos átomos de hidrógeno se puede unir un átomo del mismo, o a cuántos puede sustituir.

Algunos elementos tienen varias valencias. Así, por ejemplo, el hierro tiene dos y tres valencias, y el plomo dos y cuatro.

Ejemplos:
En la combinación FeO, el hierro y el oxígeno son bivalentes. En la combinación PbO_2 [óxido de plomo (IV)], el plomo es tetravalente. Trivalente es el hierro en Fe_2O_3 [óxido de hierro (III)], y tetravalente el carbono en CO_2 (dióxido de carbono).



Figura 2-28. Óxidos metálicos.



Figura 2-29. La sal desprende oxígeno.

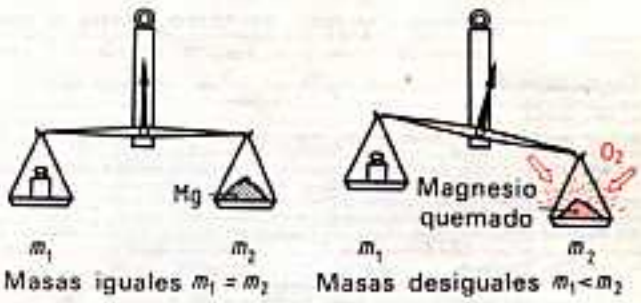


Figura 2-30. Variación de la masa por oxidación.

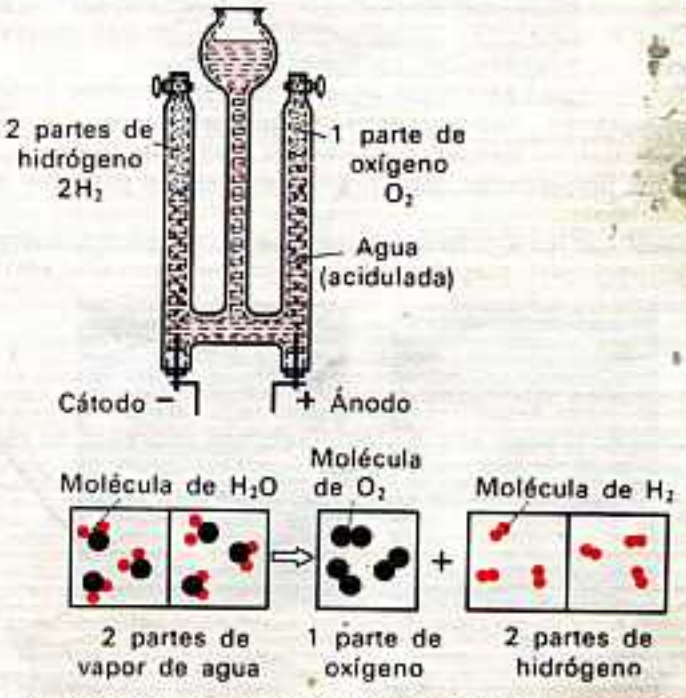


Figura 2-31. El agua acidulada se descompone en hidrógeno y oxígeno por la acción de la energía eléctrica.

Ejercicios

Propiedades de los materiales

Propiedades físicas

1. Citar diversas substancias y ordenarlas en metales férreos, no férreos y no metales.
2. El cinc es sólido por debajo de 419°C y gaseoso por encima de 906°C. ¿Como se explica la variación de los estados de agregación?
3. Una regla plana está contrastada para 20°C. ¿Con una temperatura superior del instrumento de medición, medirá una cota demasiado grande o demasiado pequeña?
4. Decir qué estado de agregación adquieren los metales hierro, cinc, plomo, mercurio, estaño y aluminio, a 400°C, y cuál a 1 000°C.
5. ¿Cómo se explica la temperatura de equilibrio cuando se calienta y cuando se enfría un metal?
6. Fundamentar por qué se distingue entre masa y peso de un cuerpo.
7. La unidad de peso es el newton (N). Resulta: $1\ N = 1\ kg/m/s^2$. ¿Qué consideraciones condujeron a esa unidad?
8. Si se carga un camión con una pieza que tiene una masa de 400 kg, los ejes quedarán sometidos a un peso adicional de 3924 N. Fundamentar la diferencia numérica de ambos datos.
9. Cuando un cuerpo pasa de la Tierra al espacio, varía su peso, pero no su masa. Explicar la razón.
10. Se calienta al rojo una bola de acero. ¿Varía el volumen, la masa y el peso del cuerpo? Fundamentar las respuestas.
11. Un cuerpo es más fácil de levantar en la Luna que en la Tierra. ¿Por qué?
12. ¿Qué se afirma cuando se da para la densidad $\rho = 2{,}7\ kg/dm^3$?
13. 1 kg de acero y 1 kg de aluminio tienen volúmenes diferentes. ¿Por qué?
14. El acero a 20°C y a 800°C tiene diferente densidad. ¿Por qué?

Propiedades tecnológicas y mecánicas

15. Algunos materiales son colables, otros mecanizables, soldables o templables. ¿Qué propiedades son necesarias para ello?
16. Dar ejemplos en los que un material está sometido a tracción, compresión, flexión y torsión, respectivamente.
17. ¿Por qué no pueden doblarse las piezas de fundición gris?
18. ¿Qué propiedades debe poseer un material para que pueda doblarse?
19. Clasificar los siguientes materiales: goma, plomo, acero para muelles, piel, plastilina y hormigón, en materiales elásticos, plásticos y frágiles.

Propiedades químicas

20. Juzgar si cada uno de los siguientes procesos es físico o químico:
    a) disolución de un terrón de azúcar en agua
    b) combustión de carbón de coque
    c) licuefacción de un metal al calentarlo a elevada temperatura.
21. ¿Qué elementos designan estos símbolos: Cu, O, Fe, Zn, S, Al, P, Sb, Mg, H, He?
22. ¿Cómo se explica que elementos como el oxígeno y el hidrógeno sean gaseosos a la temperatura ambiente?
23. Explicar la diferencia entre mezcla y combinación.
24. Describir el ensayo de la formación de sulfuro de cobre.
25. Escribir las ecuaciones químicas de la formación de MgS (sulfuro de magnesio) y ZnS (sulfuro de cinc). ¿Qué elementos se han combinado entre sí?
26. ¿De qué elementos se compone la piedra caliza (carbonato cálcico) ($CaCO_3$), el agua (óxido de hidrógeno) (H_2O) y la piedra de esmeril (sesquióxido de aluminio) (Al_2O_3)?
27. Explicar la diferencia entre átomo y molécula.
28. Dibujar el modelo atómico de Bohr del oxígeno y del carbono.
29. ¿En qué se diferencian las estructuras atómicas del carbono, del hidrógeno y del oxígeno?
30. ¿Cómo se explica que los gases nobles, como el helio y el neón, no ardan (no se combinen con el oxígeno)?
31. Explicar el proceso químico de la oxidación de un metal.
32. Explicar en qué se diferencia el átomo del ion.
33. ¿Por qué parecen los átomos neutros externamente?
34. Nombrar los elementos que intervienen en las combinaciones: Fe_2O, $CuSO_2$, HNO_3.
35. Ordenar los siguientes elementos en metales ligeros y halógenos: Mg, Ca, Cl, K, F, Na, I, Br, Al.
36. Los iones pueden tener carga eléctrica positiva o negativa. ¿Cuándo se dice que un ion es positivo?
37. Hablar sobre la existencia y propiedades del oxígeno.
38. ¿Qué se entiende por valencia de un elemento?
39. Los siguientes metales son bivalentes: Ca (calcio), Mg (magnesio), Zn (cinc), Pb (plomo). Formar sus óxidos.
40. Determinar la valencia de los elementos del ácido clohídrico (HCl), el amoníaco (NH_3), el agua (H_2O), la sal común (NaCl) y el óxido férrico (Fe_2O_3).
41. Escribir los resultados de las siguientes ecuaciones de reacción:

    a) $2\ CO + O_2 \rightarrow$ b) $2\ Hg + O_2 \rightarrow$
    c) $4\ Al + 3\ O_2 \rightarrow$ d) $Fe_2O_3 + 2\ Al \rightarrow$

42. Explicar por qué el oxígeno y el hidrógeno se representan siempre en estado molecular (O_2; H_2).
43. Representar las combinaciones CO_2 y CH_4 como enlaces de pares de electrones.
44. Fundamentar la afirmación de que en una combinación química sólo se comparten electrones (cargas negativas) de la capa externa de la envoltura atómica.
45. Indicar las características esenciales del enlace iónico y del enlace metálico.
46. ¿Cómo se explica la conductividad térmica y eléctrica de los metales?

2.2 Textura de los materiales metálicos

2.2.1 Características comunes

ESTRUCTURA CRISTALINA DE LOS METALES

Los líquidos tienen una ordenación atómica irregular, son cuerpos amorfos (amorph, del griego = sin forma). Toman la forma del recipiente que los contiene.

Los metales han de tener la **dureza** y **resistencia** adecuadas a su empleo, ser lo suficientemente **elásticos** y poseer, en determinadas condiciones, una gran capacidad de **dilatación**. Esto puede conseguirse mediante los correspondientes tratamientos. Para comprender las propiedades de los materiales es preciso conocer la estructura de los metales.

En éstos, los átomos forman retículas espaciales de estructura regular. Si las retículas están limitadas por superficies planas, se habla de cristales.

Observando al microscopio superficies de metales pulidas y decapadas, se ven partes irregularmente limitadas. Son las superficies de corte de figuras geométricas. Se reconoce entonces que los metales se componen de partículas de forma regular (cristales).

En estado sólido, los metales son cristalinos.

Ensayo: La formación de cristales partiendo de una solución puede verse claramente en el azufre. El azufre se disuelve en sulfuro de carbono (cuidado). Al evaporarse aquél (CS_2), se deposita azufre líquido en forma de cristales.

Observación: Al solidificarse un material líquido se forman cristales que se unen entre sí para formar sistemas de cristales mayores. Al aumentar de tamaño, los cristales se obstaculizan generalmente unos a otros, formando grandes conjuntos irregularmente limitados, llamados **granos** o **cristalitas**. El crecimiento termina en cuanto se ha solidificado la masa fundida. La imagen visible de los granos se llama **textura**.

La textura metálica está compuesta de muchas cristalitas (granos).

La forma de los cristales depende de cómo se ordenen los iones metálicos dentro del grano, al pasar del estado líquido al sólido. El ampaquetamiento de esferas (ordenación iónica) en cristalitas puede dar un cubo (sistema cúbico) o columnas hexagonales (sistema hexagonal).

Si se dibujan sólo los centros de los iones metálicos y se marcan las limitaciones geométricas con rectas imaginarias, se obtiene la **retícula espacial**. La forma de la retícula depende de las fuerzas electrostáticas. Así, por ejemplo, el hierro α, el cromo, el wolframio y el molibdeno poseen una retícula cúbica centrada en el cuerpo, con 8 iones en los vértices y un ion central; el hierro γ, el aluminio y el cobre forman una retícula cúbica centrada en las caras, con 8 iones en los vértices y 6 iones en las caras; el magnesio, el cinc y el titanio tienen una retícula hexagonal.

En la retícula cúbica más sencilla, en la cual sólo los vértices están ocupados por iones metálicos, no cristaliza ningún metal.

La maleabilidad de los metales depende de la estructura reticular.



Figura 2-32. Imagen electrónica de una superficie de aluminio mordida con ácido (10 000 aumentos). En estado sólido, los metales son cristalinos.

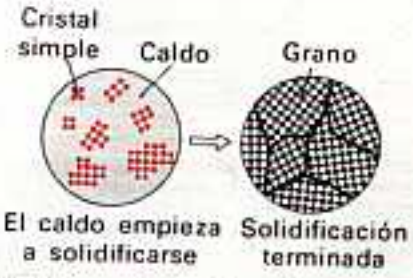


Figura 2-33. Formación de la textura de los metales.



Figura 2-34. La textura del acero se compone de muchas cristalitas.

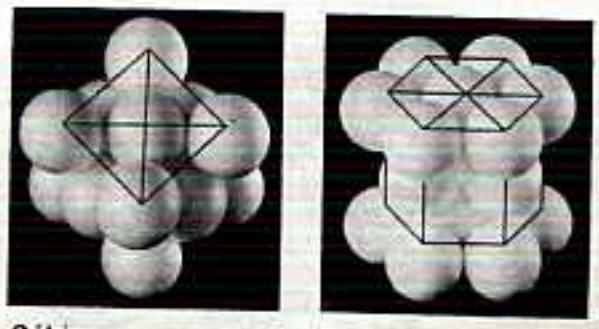


Figura 2-35. Ordenación iónica (los iones representados como esferas).

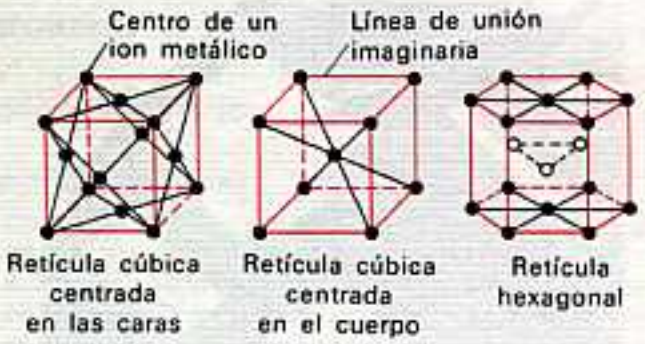


Figura 2-36. Ordenación iónica (los iones representados como puntos).

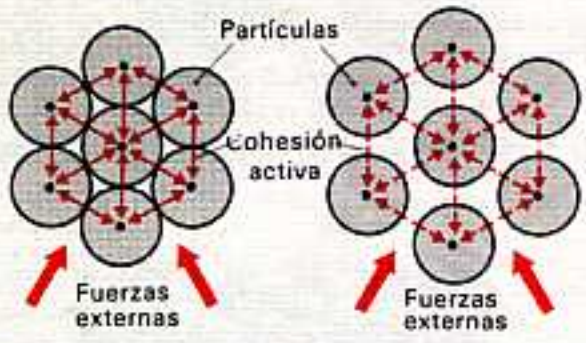


Figura 2-37. La cohesión impide la penetración de un cuerpo en otro.

Figura 2-38. En estado caliente el material posee una cohesión más pequeña.

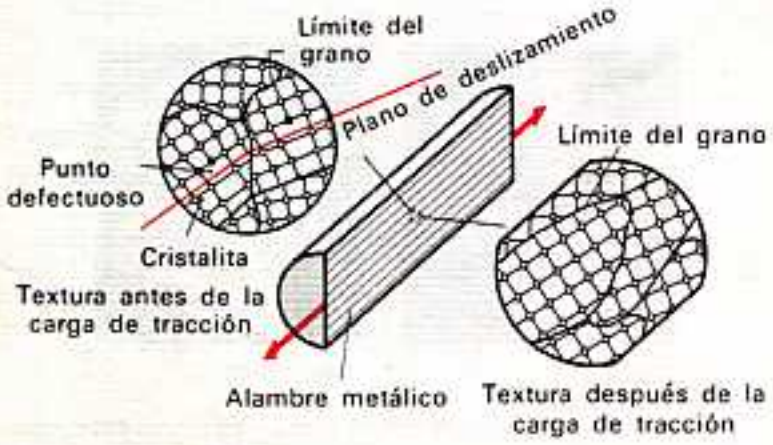


Figura 2-39. Deformación plástica.

En la conformación por fuerzas mecánicas, los iones metálicos se desplazan entre sí. La resistencia al desplazamiento está condicionada notablemente a la obstaculización espacial de los iones metálicos. Las retículas más maleables son las cúbicas centradas en el cuerpo, y las menos maleables las hexagonales. Debido a la densidad de la ordenación iónica, el peligro de rotura al doblar magnesio y cinc es mayor que con el acero y el cobre.

2.2.2 Textura de deformación

FUERZAS ACTIVAS ENTRE PARTÍCULAS DE SUBSTANCIAS

La fuerza que actúa entre las partículas más pequeñas de una misma substancia se llama **cohesión**. El campo de atracción de dos partículas es de 50/1 000 000 mm. La fuerza entre dos partículas es realmente muy pequeña, pero como en un trozo de metal hay muchas partículas, para dividirlo han de emplearse fuerzas considerables capaces de vencer la cohesión.

Las partículas de una substancia, como consecuencia de las fuerzas reticulares o moleculares, pueden aferrarse a otros cuerpos. Por ejemplo, el agua a las paredes del recipiente, el polvo y la tiza a los cuerpos sólidos. La fuerza de atracción entre las partículas de dos substancias se llama **adherencia**.

Dureza. La cohesión evita que otro cuerpo dañe la superficie de la substancia, es decir, que deje huella en él o lo penetre. La fuerza que se opone a esto se llama dureza y depende de la magnitud de la cohesión.

La energía calorífica reduce la dureza del material, ya que aumenta el movimiento oscilatorio de las partículas, de forma que aumenta la distancia entre ellas y disminuye la cohesión.

La dureza es la resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado por otro más duro.

DEFORMACIÓN ELÁSTICA Y PLÁSTICA

Ensayo: Un alambre de cobre (d = 1 mm, l = 0,5 m) es solicitado a tracción por fuerzas exteriores crecientes. El alambre se alarga y se hace más delgado.

Observación: Por el efecto de fuerzas exteriores, las cristalitas se deforman y se deslizan entre sí.

Con fuerzas pequeñas se obtiene una deformación **elástica.** Las distancias entre los átomos en la retícula cristalina aumentan y el grano se alarga. Cuando cesan de actuar las fuerzas, los átomos vuelven a su posición de partida.

Para fuerzas mayores se presenta un alargamiento permanente (deformación **plástica**), hasta que, bajo cierta carga, se parte el material. El proceso puede representarse simplificadamente con una cristalita.

Deformación de una cristalita

En el proceso de solidificación del metal líquido, al cristalizar se producen irregularidades en la estructura de la retícula. Así, por ejemplo,

queda incompleto un plano atómico perpendicular, terminando en cualquier parte de la retícula. El cristal tiene allí un **fallo** que se llama **desplazamiento**, ya que ahí existen átomos del plano incompleto que están desplazados respecto de la retícula uniforme. El plano de la retícula perpendicular al plano incompleto se llama **plano de deslizamiento**.

Alrededor de los puntos defectuosos o fallos existen tensiones elásticas, ya que debido a la distancia menor entre los átomos se producen compresiones encima del plano de deslizamiento, y, debido a la mayor distancia, tensiones debajo de dicho plano.

Si actúan fuerzas exteriores sobre el cristal, éstas generan tensiones adicionales. En un punto defectuoso se producen por tanto tensiones elevadas. La retícula desvía estas tensiones, propagándose el desplazamiento a lo largo del plano de deslizamiento. Si el desplazamiento sale del cristal, se produce un escalón, o sea una deformación permanente del tamaño de una distancia entre átomos.

En la textura general, el desplazamiento se detiene, dentro de una cristalita, en los límites del grano, en el que se acumulan los siguientes desplazamientos, haciéndose las tensiones cada vez mayores. En cuanto alcanzan una determinada magnitud, como consecuencia de la acción de las fuerzas exteriores, en los cristales próximos puede empezar también la propagación del desplazamiento en un plano de deslizamiento adecuado, de forma que poco a poco el material se deforma plásticamente.

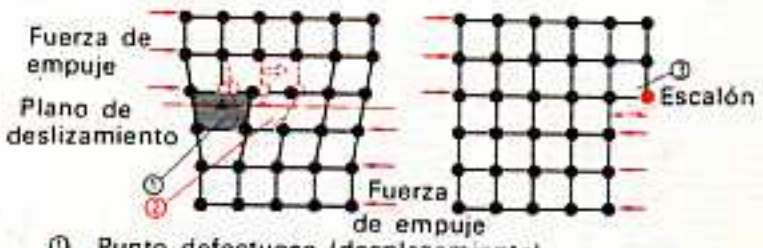


Figura 2-40. Desplazamiento.

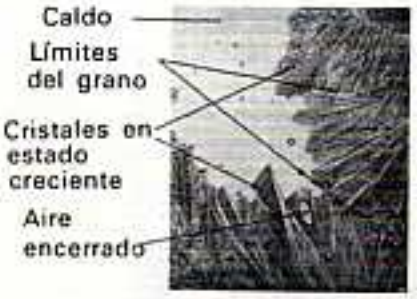


Figura 2-41. Formación de la textura.

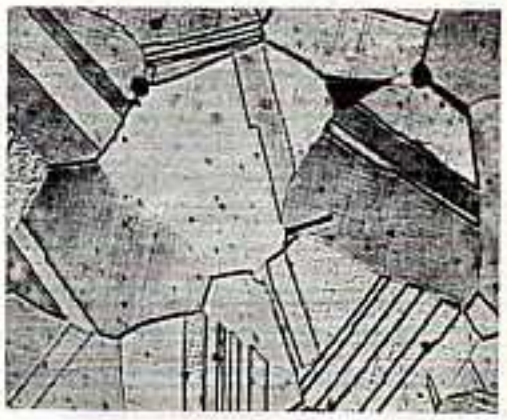


Figura 2-42. Textura homogénea después de la solidificación.



Figura 2-43. Curva de solidificación de un metal puro.

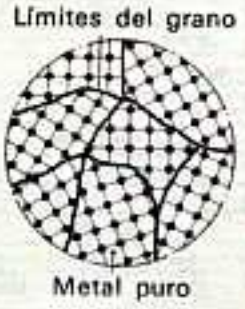


Figura 2-44. Representación de la textura de un metal puro.

2.2.3 Estructura de las aleaciones

ESTRUCTURA DE UN METAL DE UNA SOLA SUBSTANCIA Y DE UNA ALEACIÓN

Las aleaciones se forman mezclando metales con metales o con no metales en estado líquido.

Con las aleaciones pueden controlarse ciertas propiedades deseadas, tales como dureza, resistencia, elasticidad, resistencia al calor o resistencia a la corrosión.

Metal de una sola substancia

En estado líquido los iones metálicos se mueven libremente. Al solidificarse se observa un punto de retención en el cual la temperatura permanece constante cierto tiempo. Durante este tiempo prosigue la cristalización partiendo de los llamados núcleos de cristalización (por ejemplo partículas de suciedad). Los átomos metálicos se apoyan unos en otros, actúan las fuerzas de enlace y forman cristales. Cada cristal crece como si los demás no existieran. Los cristales en crecimiento chocan entre sí de forma que las series continuas de átomos se rompen de repente, continuando en los cristales próximos hacia otras direcciones. Las direcciones cambian por tanto de grano en grano, formándose una textura cristalina cuyos límites se llaman granos.

Aleaciones

El punto de solidificación de un metal cambia al alearse, dependiendo de la relación de la mezcla. En la figura pueden verse las curvas de

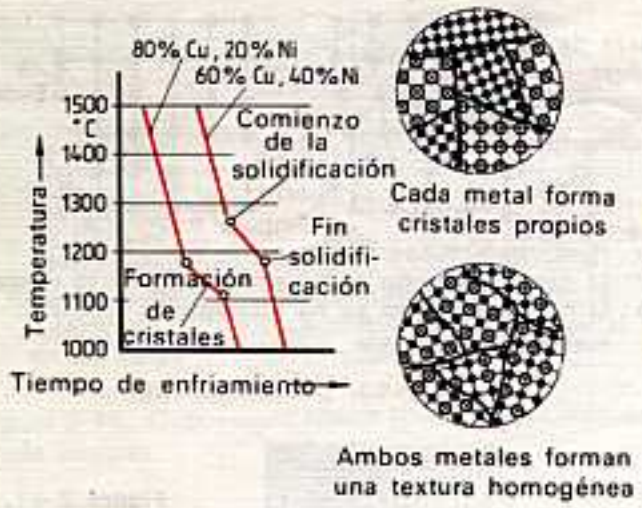


Figura 2-45. Curva de solidificación de una aleación (cobre-níquel).

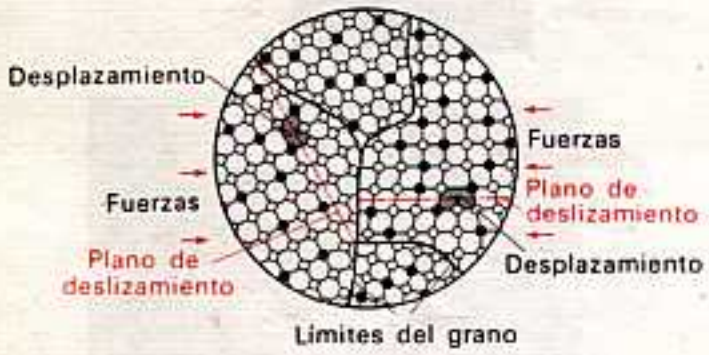


Figura 2-46. Los planos de desplazamiento no coinciden.

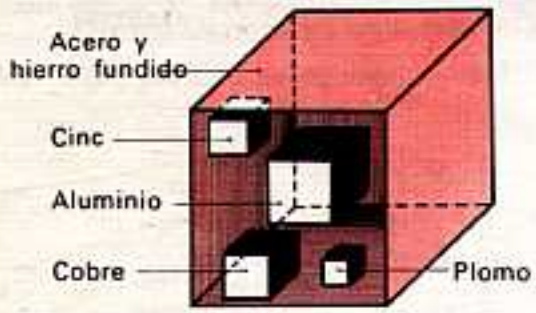


Figura 2-47. El acero y el hierro fundido son los más empleados de todos los metales.



Figura 2-48. Combinación del hierro con el oxígeno.

solidificación de dos aleaciones de níquel y cobre.

En el caldo los átomos de los metales mezclados están disueltos unos en otros. Al solidificarse, los átomos de los metales aleados forman núcleos de cristalización desde los cuales parte el crecimiento de los cristales. Pueden aparecer dos retículas.

Mezcla de cristales: Los componentes de la aleación forman cristales por sí mismos. Resulta por tanto una serie de cristales diferentes, o sea que la textura no es homogénea.

Cristales mezcla: Los componentes de la aleación forman una retícula común. En cada cristalita están contenidos los diferentes átomos metálicos y se habla de cristales mezcla, siendo la textura homogénea.

DUREZA Y RESISTENCIA DE UNA ALEACIÓN

Frente a un metal de una sola substancia, las aleaciones poseen una dureza y resistencia mayores, lo cual se explica por las irregularidades en la estructura de la retícula. Si los átomos de los componentes de la aleación tienen un diámetro mayor que los átomos de la substancia base, producen una tensión en la retícula base. Si actúan fuerzas externas, esta tensión y la resistencia adicional consecuencia del tamaño diferente de los átomos, dificultan la propagación del desplazamiento.

Si en los límites del grano se cortan dos planos de deslizamiento, se acumulan allí los desplazamientos y se produce un endurecimiento del material.

2.3 Materiales férreos

2.3.1 Combinaciones en el mineral de hierro

ROCAS CON CONTENIDO DE HIERRO

Los minerales de hierro son generalmente óxidos de hierro con acompañantes férricos, por ejemplo, azufre, fósforo, manganeso, silicio y componentes terrosos como cal, arcilla y ácido salicílico.

Las substancias básicas componentes de los cuerpos terrestres han formado combinaciones bajo la influencia de determinadas condiciones, como son el calor, la presión, el viento y el agua. Por ejemplo, el oxígeno, el azufre, el fósforo, el silicio y el carbono se han combinado con los metales para formar minerales. El color pardorrojizo del suelo proviene de las combinaciones del hierro en los minerales.

Los minerales son rocas. Los metales se presentan combinados químicamente en los minerales, mezclados con rocas. Los minerales se aprovechan si desde un punto de vista económico contienen suficiente cantidad de metal útil. En los minerales de hierro el contenido mínimo del metal es del 25%, y en los minerales de cobre el 0,6%.

Según el metal aprovechable se distinguen minerales de hierro, cobre, estaño, plomo, cinc, níquel, etc.

Ensayo: En los óxidos minerales, el hierro está combinado químicamente con el oxígeno (figura 2-48).

Materiales

Si se calienta fuertemente una chapa de acero o lana de acero, en la superficie se forma una capa negra de cascarilla. La combinación tiene el mismo aspecto que la magnetita.

Observación: El hierro y el oxígeno se combinan químicamente formando óxido de hierro. Las combinaciones del oxígeno se llaman óxidos.

Ensayo: Reconocimiento de las propiedades magnéticas (figura 2-49) del acero y del mineral de hierro.

Se observa que el acero es atraído por un imán, pero no es así la hematites parda.

Observación: En el mineral, el hierro no puede estar en forma elemental, sino como combinación química.

Ensayo: En la hematites parda, el hierro está combinado con oxígeno y agua (figura 2-50).

En la probeta hay lana de acero brillante. Se cierra la probeta a); en la probeta abierta b) se echan unas gotas de agua. Transcurridas varias horas se forma óxido en la probeta b). El aspecto de este óxido es comparable al mineral de hierro (hematites parda).

Observación: El óxido es la retrogradación del metal hierro al estado de mineral. El óxido y la hematites parda son básicamente una combinación de hierro con oxígeno del aire y agua.

Ensayo: En el mineral sulfurado el hierro está combinado químicamente con el azufre (figura 2-51).

Se mezcla polvo de hierro (Fe) y azufre (S) en la proporción 7:4. No se produce ningún cambio. Con un imán se puede extraer el hierro de la mezcla. Si se calienta la mezcla se observa una incandescencia repentina de la misma. Una vez fría, la masa presenta un aspecto diferente y ya no es magnética. Es similar a los minerales que contienen azufre.

Observación: El hierro y el azufre dan como resultado la combinación química denominada sulfuro de hierro.

En la formación de los minerales de hierro, el hierro está combinado principalmente con oxígeno, azufre y carbono. Se aprovechan los minerales de hierro con un contenido del 25% al 70% de este metal. Minerales importantes son: la magnetita (Fe_3O_4) con 50 a 75% de hierro; la hematites parda ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) con 30 a 50%; la hematites roja (Fe_2O_3) con 30 a 50% y la siderita ($FeCO_3$), con 30 a 45%.

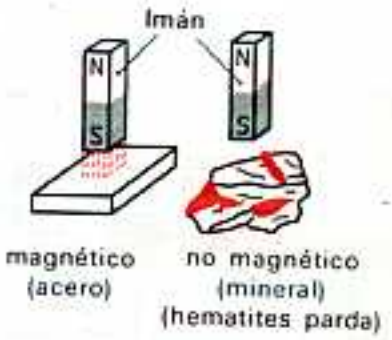


Figura 2-49. Propiedades magnéticas del acero y el mineral de hierro.

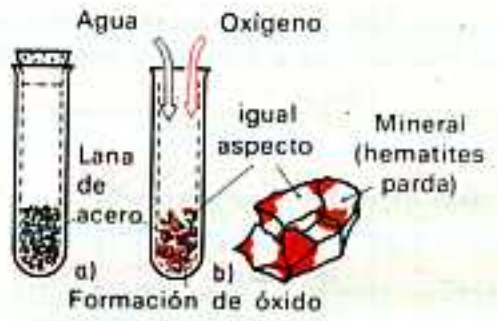


Figura 2-50. Combinación del hierro con el oxígeno y el agua.



Figura 2-51. Combinación del hierro con el azufre.

2.3.2 Obtención del hierro bruto

REDUCCIÓN DE LOS ÓXIDOS METÁLICOS

Por reducción se entiende la sustracción de oxígeno de los óxidos.

Si de un mineral —el óxido metálico— se quiere obtener el metal, debe eliminarse el oxígeno. La reducción se consigue con ayuda de reductores, es decir, elementos con gran avidez por el oxígeno, hallándose el óxido metálico en estado líquido o sólido.

Ensayo: Si se mezcla en una probeta óxido de cobre con polvo de carbón vegetal (carbono), y se calienta fuertemente, el óxido de cobre negro adquiere lentamente un color rojizo, es decir, se reduce a cobre. El carbono se combina con el oxígeno del óxido de cobre y se oxida convirtiéndose en dióxido de carbono (figura 2-53).

Otros reductores son el hidrógeno y el monóxido de carbono.

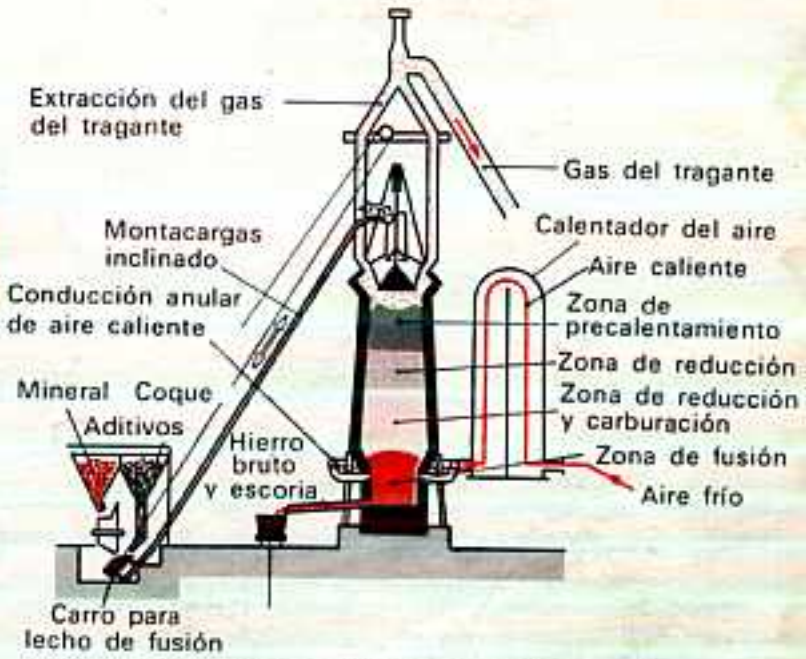


Figura 2-52. Esquema de la obtención de hierro bruto en un alto horno.

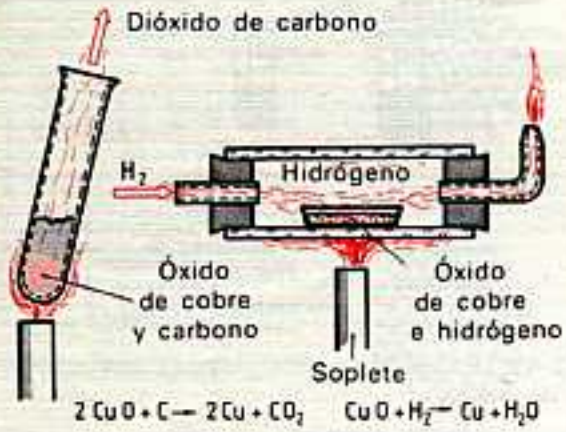


Figura 2-53. Reducción de óxidos metálicos. Ensayos con carbono e hidrógeno como reductores.

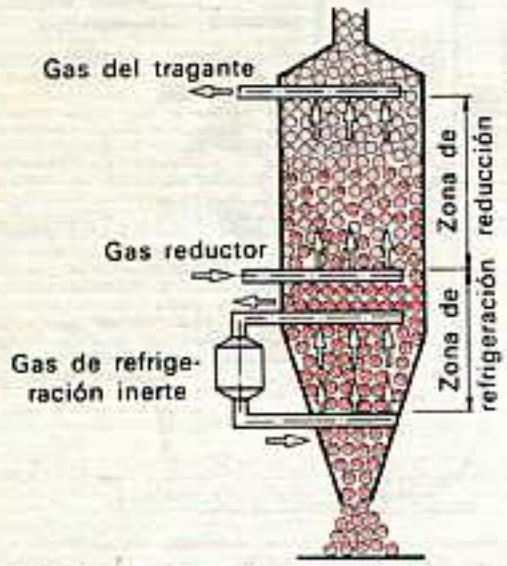


Figura 2-54. Esquema de procedimiento de reducción directa.
Ecuación de reducción:

$$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2\uparrow$$
$$3FeO + 3CO \rightarrow 3Fe + 3CO_2\uparrow$$

Ensayo: Si se hace pasar una corriente de hidrógeno por óxido de cobre negro, y se calienta la masa en un tubo de ensayo resistente a la fusión, se forma cobre rojo.

Observación: Los reductores extraen el oxígeno de los óxidos metálicos.

REDUCCIÓN DE LOS ÓXIDOS DE HIERRO

En un alto horno los óxidos minerales se reducen a metal con coque y monóxido de carbono como reductor.

1. **Zona de precalentamiento**
   $Fe_2O_3 \cdot nH_2O \rightarrow FeO_3 + nH_2O$ Se desprende vapor de agua.

2. **Zona de reducción**
   $3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2\uparrow$
   $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2\uparrow$

3. **Zona de carburación**
   $3FeO + 3CO \rightarrow 3Fe + 3CO_2\uparrow$
   $3Fe + C \rightarrow Fe_3C$

Los procesos que se desarrollan en el alto horno pueden representarse en forma simplificada como se indica a continuación.

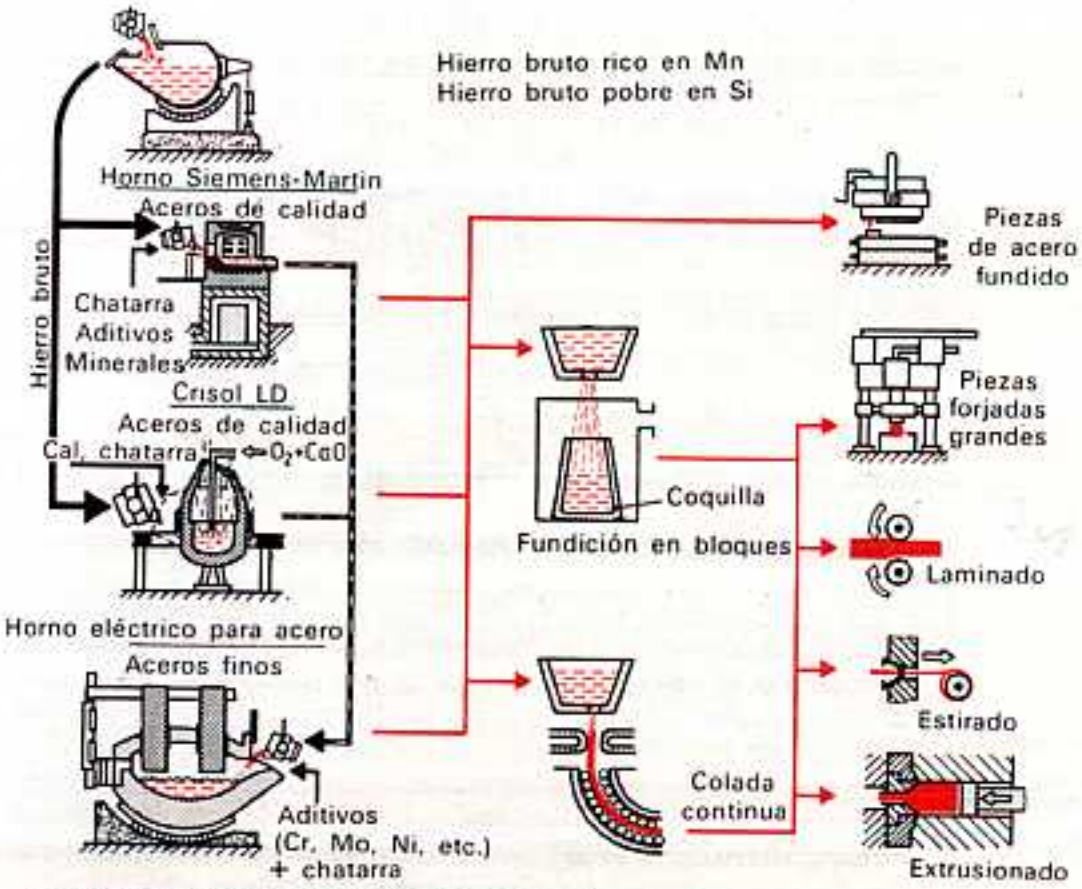
1. En la zona de precalentamiento el mineral desprende azufre y agua.
2. En la zona de reducción, el mineral es reducido a óxido de hierro (II) por la acción del monóxido de carbono ascendente.
3. En la zona de carburación tiene lugar otra reducción a hierro metálico. Al mismo tiempo el hierro absorbe carbono, silicio, manganeso, azufre y fósforo.
4. En la zona de fusión se funde completamente el mineral. Las impurezas se combinan con cal para formar la escoria. El hierro bruto líquido y encima la escoria más ligera, van a parar a la parte inferior del bastidor. A determinados intervalos de tiempo se deja salir («sangra») el caldo (en los modernos altos hornos por una abertura común).

En los **procedimientos de reducción directa**, el mineral de hierro se desliza lentamente por gravedad a un horno de cuba. El gas reductor (CO, H_2) calentado a 800°C entra en sentido contrario al mineral, eliminando el oxígeno contenido en aquél. Se forma así la esponja de hierro, que se elabora hasta obtener acero. La metalización del mineral tiene lugar por vía directa, es decir, sin fase líquida.

2.3.3 Hierro bruto, acero, fundición

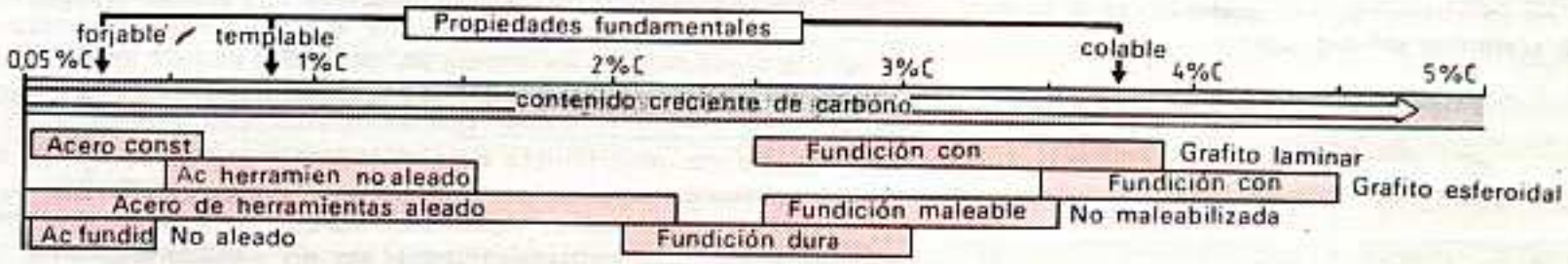
DEL HIERRO BRUTO AL ACERO Y LA FUNDICIÓN

El hierro bruto contiene todavía hasta un 6% de carbono (C) y como acompañantes hasta un 3% de silicio (Si) y un 6% de manganeso (Mn), así como pequeñas cantidades de azufre y fósforo. Un contenido alto de carbono, azufre y fósforo hacen al hierro muy frágil, no forjable e insoldable.



Acero SM	Tipo de fusión	
Aceros de construcción y de herramientas no aleados y de baja aleación		M
Acero de inyección de oxígeno		
como el acero Siemens-Martin		Y
Acero eléctrico		
Aceros rápidos, aceros de alta resistencia al calor, aceros de alta aleación resistentes al óxido y a los ácidos		E

Figura 2-55. Del hierro bruto al acero y al acero fino.



Con un contenido alto de Si, al enfriarse se deposita el carbono en forma de grafito. La superficie de rotura es gris (**hierro bruto gris**). Si predomina el efecto del manganeso, el carbono se combina al enfriarse con el hierro, formando carburo de hierro (Fe_3C). Se obtiene una superficie de rotura blanca radiante (**hierro bruto blanco**).

El acero debe ser forjable, soldable y, a ser posible, templable. Lo que se pretende en la obtención del acero es reducir el contenido de carbono y de los acompañantes del hierro. La transformación del hierro bruto en acero se llama afino.

Son procedimientos de afino el de inyección de oxígeno, el Siemens-Martin y el eléctrico.

De acuerdo con sus aplicaciones, las clases de acero se subdividen en **aceros de construcción** (construcción de vehículos, construcciones de acero, piezas para aparatos) y en **aceros para herramientas** (herramientas de corte, herramientas de sujeción y piezas para máquinas). Dentro de estos grupos el acero puede ser no aleado o aleado. Un acero está aleado si para mejorar sus propiedades se le añaden metales como el cromo, níquel, manganeso y vanadio (véase pág. 49).

En los aceros no aleados la resistencia y la dureza aumentan al aumentar el contenido de carbono, disminuyendo en cambio la soldabilidad y la forjabilidad.

El **hierro fundido** es un material de hierro colado con un contenido de carbono de 2,5 a 4,5%. Estos materiales se caracterizan, frente al acero, por un punto de fusión más bajo y una colabilidad más fácil. Para piezas de forma complicada, la fundición es la modalidad de fabricación más económica. Los materiales de hierro y acero colados son la fundición, la fundición maleable y la fundición dura. El acero moldeado es el acero colado en moldes.

2.3.4 Diversas calidades de aceros

ACEROS NO ALEADOS Y ALEADOS

El acero es un material versátil. Según su pureza, aditivos aleados y tratamiento, es blando o duro, resistente a la tracción, al desgaste, a la corrosión y al calor.

El acero se puede forjar, laminar y fundir, así como mecanizar con o sin arranque de viruta.

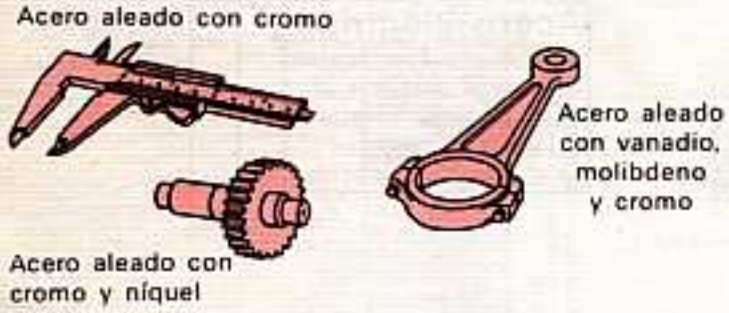


Figura 2·56. Mejora del acero por aleación. (Pie de rey y rueda dentada de acero aleado de calidad. Biela de acero fino aleado).

Afinar el acero es limpiarlo (reducir las substancias acompañantes), recarburarlo (fijar el contenido correcto de C) y alearlo (añadir elementos de aleación).

Según el contenido de elementos de aleación, las clases de acero se subdividen en aceros no aleados y aleados. Los aceros no aleados se subdividen a su vez en **aceros básicos, aceros de calidad y aceros finos**; los aleados sólo en aceros de calidad y aceros finos.

Los **aceros básicos** son aquellos cuyas propiedades, tales como resistencia a la tracción, límite de fluencia y alargamiento de rotura, están dentro de unos límites determinados.

Los **aceros de calidad**, en lo que respecta a características superficiales, soldabilidad, conformación en frío y en caliente, están fabricados con gran cuidado. Pueden ser no aleados y aleados.

Los **aceros finos** son todos los aceros aleados y aquellos aceros no aleados que se diferencian de los de calidad por su mayor homogeneidad y ausencia de inclusiones no metálicas (P y S, 0,035% como máximo). Se funden con el mayor cuidado, consiguiéndose así una textura especialmente uniforme.

Según su empleo se dividen en: acero cementado, acero bonificado, acero rápido, aceros resitentes al calor, a los ácidos y a la oxidación, y acero para muelles. Aceros especialmente puros son los aceros al vacío

Los **aceros no aleados** son los que se obtienen cuando no se sobrepasan los siguientes porcentajes (el carbono no cuenta aquí como componente de la aleación):

0,5% de Si, 0,8% de Mn, 0,1% de Al, o 0,1% de Ti, o 0,25% de Cu.

Los **aceros de baja aleación** poseen hasta el 5% de componentes aleados.

Los **aceros de alta aleación** poseen más del 5% de componentes aleados. Sin embargo, no deben contener en conjunto más del 0,045% de fósforo (P) y azufre (S).

El **acero moldeado** es acero colado en moldes. Comparado con la fundición gris y la fundición maleable, posee una resistencia mecánica mayor. Para piezas sometidas a altas solicitaciones se añaden al caldo metales de aleación. El material no se distingue del

acero forjado. Sin embargo, el acero moldeado se contrae (2%) el doble que la fundición gris (1%). Por esta razón las piezas moldeadas deben ser más regulares en sus secciones y más lisas en su forma que las de fundición gris.

LOS COMPONENTES DE UNA ALEACIÓN MODIFICAN LAS PROPIEDADES

Mientras que el carbono influye en la dureza, resistencia y alargamiento del acero, para otras propiedades tecnológicas son decisivos diversos elementos de aleación:

El **cromo** aumenta la resistencia y la dureza, así como la resistencia a la corrosión y al calor, y la consistencia del corte.

Válvulas, herramientas de corte, cuerpos de laminación y depósitos resistentes a los ácidos.

El **cobalto** hace más duro al acero, así como consistente al corte.

Aceros rápidos.

El **manganeso** hace al acero más resistente al desgaste (templado en frío), pero también peor mecanizable y sensible al tratamiento térmico. El manganeso puede sustituir al níquel en determinados casos.

Cadenas, bandajes para ruedas, espadines de aguja, aceros de herramientas indeformables, bandajes para dragas.

El **níquel** actúa afinando los granos y comunica al acero tenacidad, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión.

Cigüeñales, ruedas dentadas, cubertería, depósitos resistentes a los ácidos, alambres para resistencias.

El **silicio** proporciona elasticidad; el temple penetra y mejora la resistencia del acero a los ácidos. Por encima del 0,2% de silicio disminuye considerablemente la forjabilidad y la soldabilidad.

Muelles, chapas para dinamos y transformadores, acero resistente a la oxidación y al calor.

El **vanadio** y el **molibdeno** proporcionan dureza, resistencia al calor y a la corrosión, y tenacidad.

Matrices para forja, matrices para prensas y herramientas de calidad (llaves para tornillos).

El **tungsteno** hace al acero tenaz, resistente a la corrosión, y al calor, así como consistente al corte.

Acero rápido, matrices para prensas y moldes para fundición por inyección.

2.3.5 Procedimientos de obtención de acero

PROCEDIMIENTO DE AFINO

La eliminación de los acompañantes P, S, Si y Mn existentes todavía en el hierro bruto, así como del porcentaje de C, demasiado alto, se llama afino.

Ensayo: En una cuchara se calienta una pequeña cantidad de azufre y fósforo. Con el oxígeno del aire arde el azufre con llama azulada de SO_2 (olor penetrante). El fósforo amarillo se inflama ya con un ligero calentamiento (precaución) formándose una niebla blanca de óxido de fósforo-V (P_2O_5).

El acero se obtiene por transformación química del hierro bruto a temperaturas superiores a los 1 600°C. En esta transformación se



Figura 2-57. Combustión de los acompañantes del hierro mediante oxígeno.

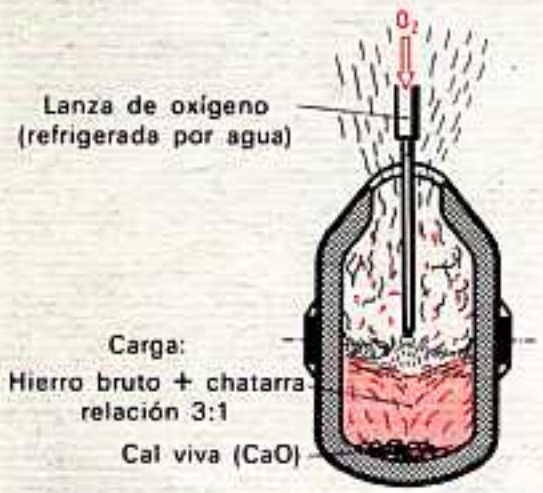


Figura 2-58. Procedimiento de inyección de oxígeno. Convertidor LD/peso de la carga hasta 300 t



Figura 2-59. Sección de un horno Siemens-Martin.

desprende el carbono en forma de dióxido de carbono, formando los óxidos de azufre y fósforo (escoria).

Si se hace pasar aire u oxígeno por el caldo, el fósforo se oxida formando óxido de fósforo-V, el azufre forma dióxido de azufre, el silicio a su vez dióxido de silicio, el manganeso forma óxido de manganeso y el carbono dióxido de carbono.

PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN DE OXÍGENO (Procedimiento de acero al oxígeno)

El más conocido es el procedimiento LD, denominado así por la acería austríaca de **Linz-Donawitz**.

Aproximadamente el 70% de todos los aceros se obtienen por el procedimiento de inyección de oxígeno, ya que es bastante más económico que el procedimiento Siemens-Martin.

El convertidor de acero al oxígeno (convertidor LD) se llena de hierro bruto líquido o esponja de hierro, chatarra y aditivos.

Con una lanza refrigerada por agua se inyecta oxígeno en el caldo a una sobrepresión de 12 bar. En la oxidación del carbono y de los acompañantes del hierro se libera gran cantidad de calor, por lo que el caldo se pone en movimiento acelerado. Se neutraliza la elevada temperatura por adición de chatarra fría. Mediante la adición de cal, los acompañantes tales como manganeso, silicio, fósforo y azufre, se unen formando escoria.

Los elementos de aleación para aumentar la calidad se añaden al final del afinado o a la salida. Los aceros obtenidos se llaman aceros al oxígeno o aceros por inyección de oxígeno.

PROCEDIMIENTO SIEMENS-MARTIN (Afino al horno)

La importancia particular del procedimiento Siemens-Martin es que permite obtener directamente acero de calidad partiendo de chatarra.

El horno Siemens-Martin es un horno fijo de llama en forma de cuba. En el método de la chatarra, se llena al 70% con chatarra de acero y el resto con hierro bruto y cal para formar escoria.

La temperatura de fusión y oxidación, de unos 1 800°C, se consigue mediante una llama abierta de gas o aceite, precalentando a 1 100°C el aire necesario para la combustión. El precalentamiento tiene lugar en cámaras de precalentamiento, calentadas por los gases de salida.

El proceso de afino tiene lugar con exceso de oxígeno. El silicio, fósforo y manganeso que acompañan al hierro, se transforman en óxidos no solubles que forman escoria con la cal. Por la formación de gases de CO se llega a la cocción del caldo, con lo que se consigue un buen mezclado.

Si se añaden elementos de aleación (cromo, níquel, y otros) antes de terminar el proceso de fusión, se obtienen aceros de baja aleación.

PROCEDIMIENTO ELÉCTRICO

Los aceros finos, en particular los altamente aleados, se obtienen en hornos eléctricos.

Con el acero de convertidor o Siemens-Martin se alimenta el horno eléctrico, se purifica y se le añaden los elementos de aleación

deseados. Las aleaciones de acero obtenidas de esa forma contienen, además del carbono y según las exigencias, cromo, tungsteno, molibdeno, vanadio, manganeso, tándalo, titanio, aluminio, boro, cobalto, níquel, circonio, silicio y fósforo.

En el procedimiento al horno eléctrico se utiliza la acción del calor producida por una corriente eléctrica. La generación de calor está libre de impurezas, ya que no existe ninguna llama de gas que desprenda azufre. Como carga se emplea chatarra de buena calidad y acero preafinado.

El **horno de arco voltaico** tiene dos o tres electrodos. Al conectar la corriente salta el arco voltaico desde las barras de carbón hacia el material a fundir. El calentamiento de produce de forma muy rápida y la temperatura puede regularse fácilmente.

Se alcanzan temperaturas de fusión de hasta 3 800°C, por lo que es posible la aleación con tungsteno (temperatura de fusión, 3 370°C) y molibdeno (temperatura de fusión, 2 600°C). En el horno de arco voltaico se funden por tanto aceros altamente aleados tales como los aceros rápidos, aceros resistentes a altas temperaturas y aceros resistentes a la oxidación y a los ácidos. Por su pureza se llaman **aceros finos**, y por su forma de fabricación, **aceros al horno eléctrico**.

En los **hornos de inducción** pasa corriente alterna por una bobina situada alrededor del crisol. En el material a fundir se producen por tanto corrientes parásitas que calientan el baño. Se emplea para la fabricación de aceros altamente aleados, de fundición aleada y de fundición con grafito esferoidal (fundición nodular).

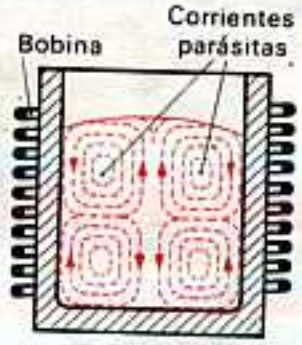


Vista general



Esquema
El horno de arco voltaico actúa solamente como reductor débil, por lo que hay una pérdida pequeña del valioso afino

Figura 2-60. Horno de arco voltaico.



La bobina de inducción engendra en el caldo corrientes parásitas que mueven el baño, proporcionando un buen mezclado

Figura 2-61. Horno de inducción.

PROCEDIMIENTO DE REFUNDICIÓN

Mediante el procedimiento de refundición y el tratamiento al vacío del acero líquido se consigue una mejora de la calidad.

El tratamiento metalúrgico del caldo de acero se realiza cada vez más por el siguiente procedimiento. Al colarlo en coquillas, el acero líquido toma oxígeno, nitrógeno y vapor de agua del aire, descomponiéndose este último a alta temperatura, en hidrógeno y oxígeno.

Al enfriarse un bloque se libera principalmente el hidrógeno disuelto en el caldo. Esto origina en el interior del bloque altas presiones que conducen a la formación de fisuras en los granos y poros, las llamadas fisuras en escamas.

Procedimiento de refusión eléctrica con escoria. Por este método se obtienen bloques de acero fino con textura uniforme y bajo en sedimentos e inclusiones. El bloque de acero fino fundido en el horno eléctrico hace de electrodo y gotea por una escoria, desembocando en una coquilla de cobre refrigerada por agua. La escoria hace las veces de resistencia eléctrica, generándose el calor de fusión necesario por el paso de la corriente a través de la escoria. En la escoria son retenidas al mismo tiempo las substancias no deseadas y los gases disueltos en el acero.

2.3.6 Colada del acero

TRATAMIENTO AL VACÍO

Mediante diversos procedimientos de colada debe conseguirse una buena desgasificación del acero líquido.

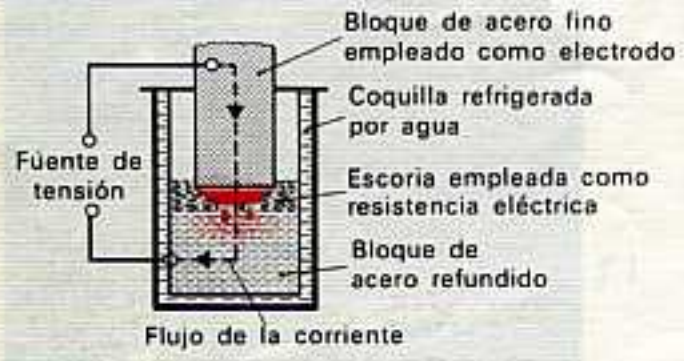


Figura 2-62. Procedimiento de refundición al horno eléctrico con escoria.

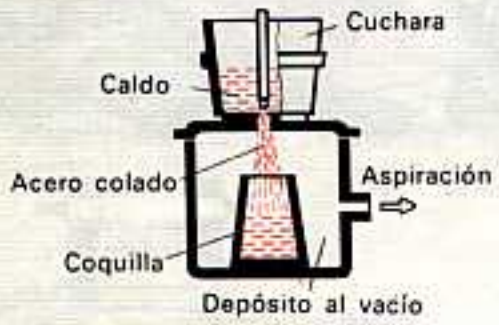


Figura 2-63. Procedimiento de colada al vacío.



Figura 2-64. Procedimiento de circulación al vacío.

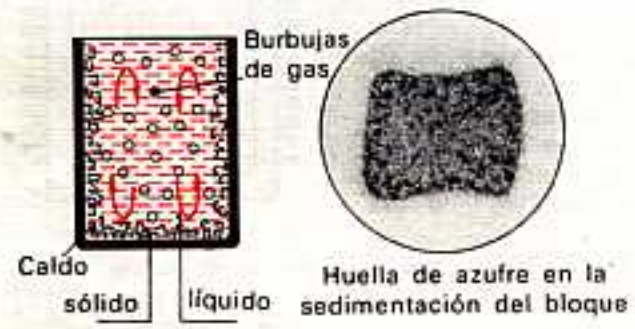


Figura 2-65. Acero colado no calmado.

Los óxidos de hierro hacen quebradizo al acero en la elaboración en caliente. El nitrógeno produce envejecimiento, y el hidrógeno produce por su parte fisuras en las piezas de forja y pequeños poros.

Las burbujas de gas que quedan en el acero son desplazadas parcialmente en un tratamiento térmico posterior. El tratamiento al vacío se emplea para obtener aceros pobres en gases. De esta forma se desprenden los gases disueltos en el caldo, el cual se encuentra en un recipiente al que se ha hecho el vacío (de la misma forma que el dióxido de carbono disuelto en una botella de agua mineral).

En el **procedimiento de colada al vacío**, el caldo se vierte desde la cuchara a las coquillas, las cuales se encuentran en un recipiente al vacío. En este caso los gases se desprenden del chorro.

En el **procedimiento de circulación al vacío**, el acero líquido se eleva desde la cuchara hasta un recipiente al vacío, por un tubo aspirador. Después de la desgasificación el acero fluye en sentido opuesto por otro tubo.

ACERO COLADO SIN CALMAR

Al solidificarse el caldo, el acero con el carbono y el oxígeno desprenden gases de óxido de carbono (ecuación: $C + FeO \rightarrow Fe + CO$). Las burbujas de gas ascendentes originan un fuerte movimiento del acero que aún se encuentra en estado líquido, con lo que el carbono, el fósforo y el silicio son comprimidos hacia el interior todavía líquido del bloque. El acero se descompone. Este proceso se llama sedimentación.

Las acumulaciones de fósforo en el acero producen fragilidad (peligro de rotura en la conformación en frío). Las acumulaciones de azufre en el acero ocasionan fragilidad al rojo (peligro de rotura al trabajarlo estando en estado incandescente). Altos contenidos locales de W, Ti o Mo producen puntos duros, que tienen como consecuencia entallas que pueden conducir a la rotura de las piezas.

Se emplea para acero en bandas, chapa fina y alambre, en los cuales se exige más de la superficie que del núcleo.

ACERO COLADO CALMADO

Mediante la adición de aluminio, silicio o manganeso al colar el acero, el oxígeno se une a esos metales. Se forman óxidos metálicos que no pueden ser reducidos por el carbono (ecuación; $2FeO + Si \rightarrow 2Fe + SiO_2$). El acero solidificado calmado posee una buena homogeneidad, ya que de esta forma se evita la sedimentación. El acero de calidad se cuela siempre calmado, pues en caso contrario el oxígeno oxida a los componentes de la aleación.

PROCEDIMIENTOS DE COLADA

Una gran parte del acero producido se cuela en bloques o en forma continua. La elaboración posterior se hace por forja, laminación o extrusión.

En la **fundición de bloques**, el acero líquido se cuela en coquillas.

En la **fundición continua** el colado se hace por una coquilla abierta refrigerada por agua. Por absorción de calor en la coquilla se solidifica el acero líquido y se extruye en forma de cordón sólido entre los rodillos de retención y de apoyo. La velocidad de extrusión es de 2 m/min. La rapida velocidad de solidificación del cordón se opone a

la formación de sedimentos y poros, con lo que se consigue una gran homogeneidad de la textura.

Con la colada continua ya no hace falta el laminado en bloques que antes se utilizaban normalmente, con bloques de fundición estacionaria y el revenido en horno de cubilote. La secciones transversales del cordón extruido pueden adaptarse a las formas del producto laminado, con lo que se reduce el trabajo posterior de conformación.

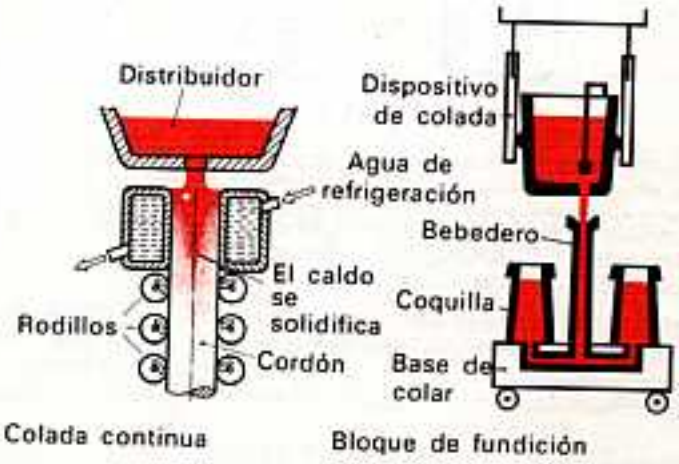


Figura 2-66. Colada del acero.

2.3.7 Materiales colados

Los materiales colados son aleaciones de hierro y carbono con un 2 al 4% de carbono que, debido a sus propiedades, son aptos para la producción de fundición en moldes.

Entre estas aleaciones figuran el hierro fundido con grafito laminar, el hierro fundido con grafito esferoidal, la fundición dura y la fundición maleable. Se funden en hornos de cuba.

HIERRO FUNDIDO

El **hierro fundido con grafito laminar** prácticamente no tiene alargamiento. La superficie de rotura es gris por el hecho de que el carbono se separa preferentemente en forma de grafito. En la superficie de rotura se presentan vetas de forma laminar con radios de curvatura pequeños, los cuales actúan como entallas y reducen por tanto la resistencia. La viruta desprendida en la mecanización es quebradiza. La resistencia a la compresión es elevada.

Hierro fundido con grafito esferoidal. Por la adición de pequeñas cantidades de magnesio y cerio, esta fundición posee en su textura depósitos de grafito esferoidal. Después de un tratamiento térmico se consigue una resistencia similar a la del acero (hasta 700 N/mm²). Posee suficiente alargamiento y puede mecanizarse por arranque de viruta mejor que la fundición gris. Las propiedades mejoradas de la resistencia se explican por la forma esferoidal del grafito, que reduce los efectos de entalladura.

Ensayo: Si se someten a la acción de una fuerza dos tiras de papel del mismo tamaño, una de ellas (A) con muescas y la otra (B) con recortes circulares, primero se rompe la A, que representa hierro fundido con grafito laminar.

La fundición dura se obtiene por adición de manganeso y enfriamiento rápido del caldo. De esta forma se consigue que el carbono se separe en toda la sección en forma de carburo de hierro (Fe_3C). La superficie de rotura tiene aspecto blanco. Se consigue una mayor resistencia mecánica, dureza y resistencia al desgaste.

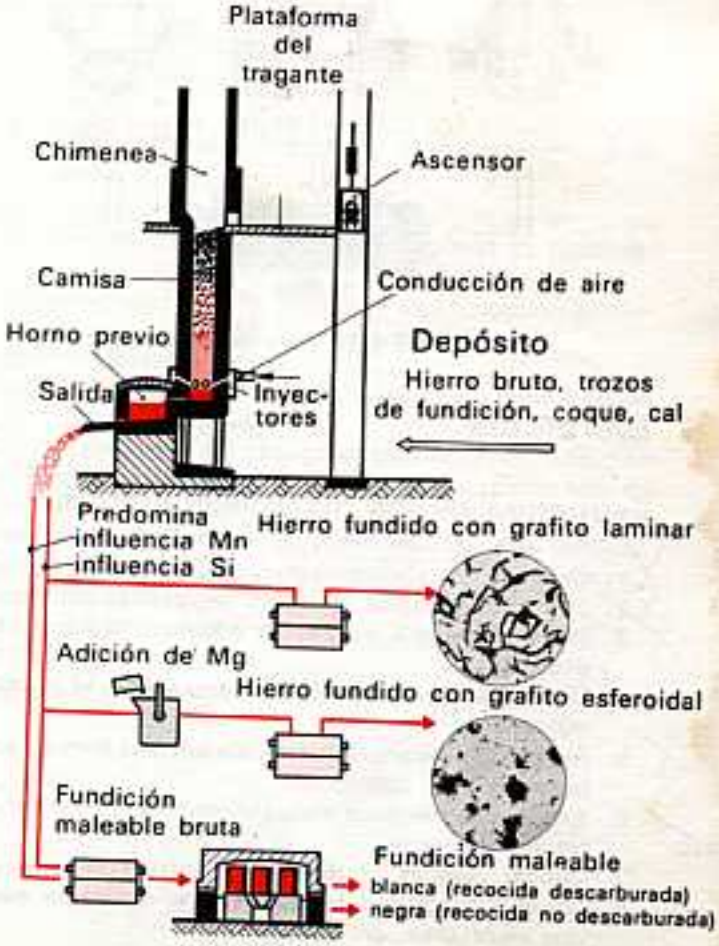
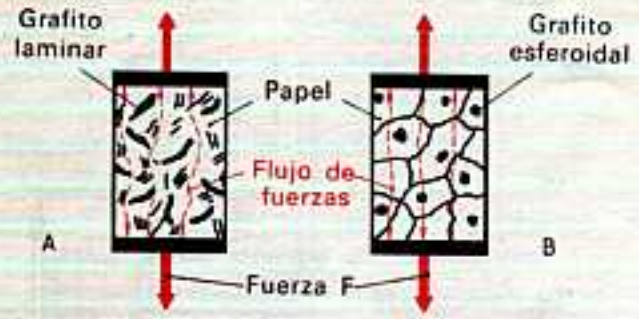


Figura 2-67. Fusión del hierro fundido.

FUNDICIÓN MALEABLE

La fundición maleable es un material colado compuesto de hierro y carbono, con propiedades similares a las del acero.



El grafito tiene forma laminar y está alojado en el material. Si se somete el material a la acción de una fuerza, las láminas de grafito interrumpen el flujo de fuerzas y el hierro fundido se parte.

El grafito tiene forma de esferas aplastadas (esferoide). Si se somete a carga, el flujo de fuerzas se interrumpe ligeramente, la resistencia es mayor.

Figura 2-68. Ensayo con modelos (acción de la entalla en la fundición gris con grafito laminar y fundición gris con grafito esferoidal).

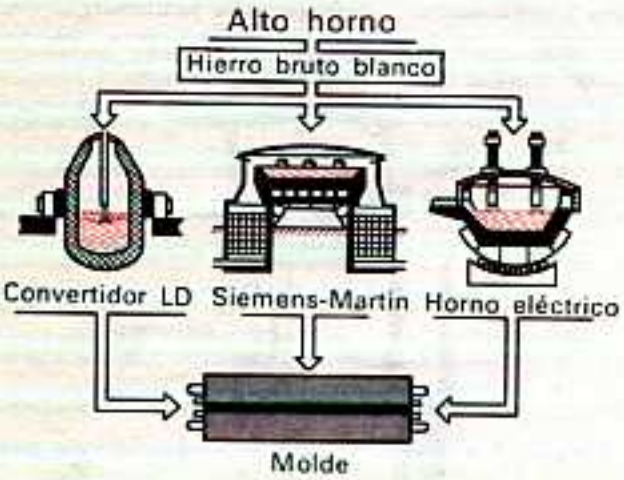


Figura 2-69. Colada del acero.

Ejercicios

Estructura de los materiales metálicos

1. Ordenar correlativamente: cristal, cristalita y textura.
2. ¿De qué depende la forma del cristal de un metal?
3. ¿Qué diferencia hay entre átomo metálico, ion metálico y electrón?
4. Dibujar una retícula cúbica centrada en el cuerpo e indicar el número de iones.
5. Indicar la diferencia que existe entre la forma de la retícula del hierro α y el cobre.
6. Explicar la diferente maleabilidad del cinc y el cobre a temperatura ambiente.
7. Indicar cuál es la diferencia entre cohesión y adherencia.
8. ¿De qué magnitud es la fuerza de cohesión que existe entre dos partículas, en función:
   a) de la clase de material,
   b) de la forma de la pieza,
   c) de la distancia entre las partículas,
   d) de la cantidad de componentes de aleación?
9. Razonar sobre la influencia que ejerce el calor en la cohesión de las partículas.
10. Un metal se deforma: a) plásticamente; b) elásticamente. ¿Qué diferencias se presentan?
11. Dibujar la variación de la textura metálica en la deformación plástica.
12. Fundamentar que los desplazamientos son portadores de las deformaciones plásticas.
13. Comparar la retícula de un metal puro con la de una aleación.
14. ¿Cómo se forma una aleación de dos metales?
15. Las aleaciones poseen, frente a los metales de una sola substancia mayor dureza y resistencia. Fundamentar este hecho en la diferente estructura reticular.

Materiales férreos

Combinaciones en el mineral de hierro y obtención del hierro bruto

16. ¿Con qué elementos químicos se combina con más frecuencia el hierro en los minerales férreos?
17. Explicar la diferencia entre sulfuros minerales y óxidos minerales y designar estas combinaciones.
18. Citar los acompañantes del mineral de hierro conocidos comúnmente como gangas.
19. Fundamentar que la herrumbre es una retrogradación del hierro a estado mineral primitivo.
20. ¿Cómo se explica que los metales de uso corriente no se encuentren generalmente en estado puro?

La fundición maleable bruta se obtiene en hornos de cuba y contiene del 2,4 al 3,4% de carbono, que aparece en forma de carburo de hierro (Fe_3C) después de la solidificación. La fundición maleable bruta es dura y frágil. Las piezas fundidas deben por tanto recocerse.

Fundición maleable recocida descarburada («blanca»)

Las piezas fundidas se recuecen en atmósfera de oxígeno (hematites roja o mezcla de gases oxidantes), a 1 000°C. El carburo de hierro se descompone en hierro y carbono, oxidándose en los bordes el carbono en forma de CO y CO_2. El material se descarbura por tanto en las capas exteriores y la superficie de rotura tiene aspecto blanco.

Fundición maleable recocida no descarburada («negra»)

Las piezas fundidas se envuelven con productos neutros (arena o gas protector). En estado recocido el carburo de hierro se descompone en hierro y en grafito en forma de escamas. Ahora la textura es uniforme en toda la sección de la pieza. La superficie de rotura tiene aspecto negro.

Aplicaciones: Palancas, bujes de ruedas, eslabones de cadenas, tambores de freno y piezas de máquinas.

ACERO MOLDEADO

El acero moldeado es un producto colado a partir de acero de convertidor LD, de horno Siemens-Martin o de horno eléctrico. Se cuela tanto no aleado como con baja o alta aleación (véase pág. 48).

21. Explicar la diferencia entre oxidación y reducción.
22. ¿Por qué va la reducción de óxidos metálicos acompañada de una oxidación?
23. El óxido de plomo IV (PbO_2) debe reducirse con hidrógeno. Escribir la ecuación de la reacción.
24. La magnetita contiene un 70% de Fe_3O_4, aproximadamente. ¿Cuántos kilogramos de óxido de hierro y de hierro puro están contenidos en 500 kg de mineral? (Fe = 56 kg; O = 16 kg).
25. ¿Qué misión tienen el coque y el monóxido de carbono en la obtención de hierro bruto?
26. ¿Cuál es la misión de los aditivos en el alto horno?
27. Diferenciar entre los procesos que se llevan a cabo en la zona de reducción, en la carburación y en la de fusión, en la obtención del hierro bruto.
28. ¿En qué se diferencia la extracción del metal de los minerales en el procedimiento de reducción directa y el de alto horno?
29. El manganeso y el silicio como acompañantes del hierro bruto determinan el aspecto de la superficie de rotura. Razonarlo.

Diferentes calidades de aceros y procedimientos de obtención de acero

30. Fundamentar por qué el hierro bruto no puede trabajarse directamente en forma de piezas.
31. ¿Qué afirmación es correcta?
    a) El hierro bruto posee un contenido en carbono superior al del acero.
    b) El hierro bruto tiene un punto de fusión más alto que el del acero.
    c) El hierro bruto posee mayor alargamiento que el acero.
32. Indicar las diferencias entre:
    a) acero de calidad y acero fino
    b) acero de alta aleación y acero de baja aleación.
33. ¿Qué componentes de la aleación de los que se indican a continuación hacen que el acero sea tenaz, resistente al desgaste, resistente al calor y duro?
    a) Silicio; b) Tungsteno; c) Manganeso; d) Cobalto; e) Cromo.
34. Citar los posibles elementos de aleación de un acero rápido.
35. Los acompañantes del hierro bruto tienen una tendencia superior al enlace con oxígeno que con hierro. ¿Cómo se aprovecha esto en la obtención del acero?
36. Explicar cómo se eliminan los acompañantes del hierro bruto, mediante el «afino».
37. Comparar el proceso de afino en el horno Siemens-Martin con el procedimiento de inyección de oxígeno.
38. Citar las partes de que se compone un convertidor L-D.
39. ¿Con qué medidas puede obtenerse acero de baja aleación, por el procedimiento Siemens-Martin?
40. Fundamentar el alto grado de pureza del acero al horno eléctrico.
41. Comparar el principio del horno de arco voltaico con el del acero al horno eléctrico.

Colada del acero

42. En la colada del acero, la absorción de gas por parte del metal empeora la calidad. Decir por qué.
43. ¿Qué se entiende por vacío?
44. Explicar la función y el principio del tratamiento al vacío para el acero líquido.
45. En la solidificación de un caldo de acero aparecen separaciones de la fusión. ¿Qué se entiende por esto?
46. ¿Qué efectos tiene la separación al trabajar un bloque de acero?
47. La falta de reposo del acero en la colada proviene de reacciones químicas. Especificarlas.
48. Explicar por qué se obtiene acero colado calmado mediante la adición de Al y Si.
49. Diferenciar entre fundición en bloque y fundición continua.
50. Decir las ventajas de la fundición continua frente a las de la fundición en bloque, en lo que respecta a:
    a) Textura
    b) Tiempo de trabajo de laminación para la fabricación de semiacabados.

Materiales de fundición

51. Indicar cuál es la diferencia entre el acero y la colada de hierro y carbono.
52. En el hierro fundido, el grafito puede presentarse en forma laminar o esferoidal. Fundamentar la diferencia de resistencia.
53. Dibujar esquemáticamente la textura de una fundición gris laminar y la de una fundición gris esferoidal.
54. ¿Qué significa «maleabilizar»?
55. Indicar la causa del aspecto negro o blanco de la superficie de rotura de la fundición maleable.
56. Comparar los procesos de recocido para obtener fundición maleable blanca y fundición maleable negra, partiendo de fundición maleable bruta.
57. Explicar la diferencia entre acero moldeado y hierro fundido, en lo que se refiere a:
    a) propiedades de colada
    b) resistencia a la tracción
    c) contenido en carbono.
58. Opinar sobre el empleo de materiales colados.

2.4 Materiales metálicos no férreos

2.4.1 Metales ligeros

ALUMINIO, símbolo Al

El aluminio fue descubierto en 1827 por Friedrich Wöhler. No adquirió importancia hasta la invención de la máquina dinamoeléctrica (1867), siendo necesarias para la obtención grandes cantidades de energía.

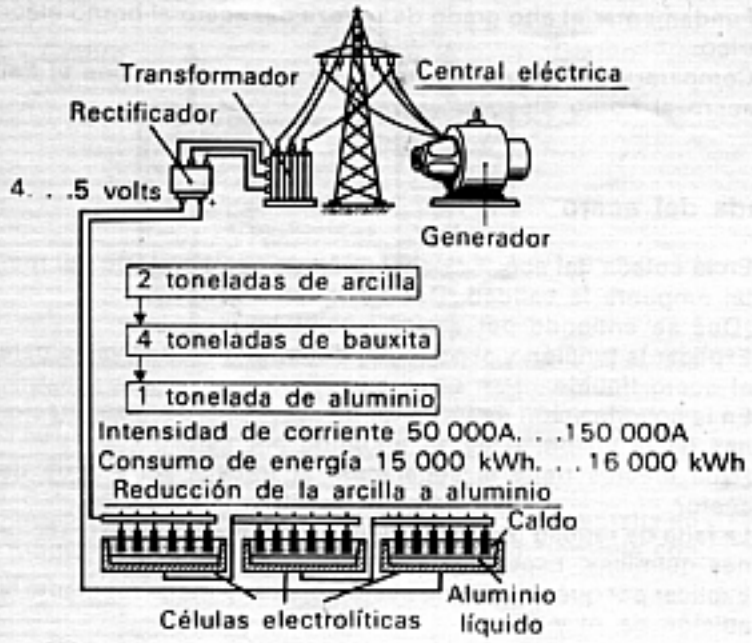


Figura 2-70. Fabricación del aluminio.

Aleaciones de aluminio, DIN 1725, ejemplos

Abreviatura	Composición en % de la masa	Propiedades Aplicaciones
Aleación maleable AlCuMg 1	Cu 3,5...4,5 Mg 0,4...1,0 Mn 0,3...1,0 Resto Al	Resistencia hasta 400 N/mm², para piezas de máquina sometidas a altas solicitaciones
Aleación de colada G-AlSi 10 Mg	Si 9...11 Mg 0,2...0,4 Mn 0...0,5 Resto Al	Piezas resistentes a las vibraciones, soldable, resistente al desgaste y a la corrosión

Presentación y obtención

No se presenta puro como metal. Sin embargo, combinado es el metal más abundante en la Tierra (aproximadamente el 8% de la corteza). El mineral más rico en aluminio es la **bauxita**. En la Comunidad Europea abunda en Francia, Italia y Grecia. El corindón es óxido de aluminio cristalino. Puro y claro, es una piedra preciosa (zafiro, rubí, topacio, amatista).

De la bauxita se obtiene en primer lugar el óxido de aluminio puro Al_2O_3 (arcilla). A continuación se elimina el oxígeno de la arcilla en células electrolíticas. Para reducir el punto de fusión de 2 000°C a 960°C, se añade criolita (Na_3AlF_6) como fundente. Los productos finales para semiacabados (chapas, barras, perfiles, tubos) son aluminio puro Al 99,98 R o aluminio, p. ej., Al 99,5 (DIN 1712T3).

Propiedades

Físicas: Punto de fusión, 658°C; densidad, 2,7 kg/dm³. Después de la plata y el cobre es el mejor conductor eléctrico.

Químicas: Resistente a la corrosión, capa de óxido impermeable.

Mecánicas: Resistencia a la tracción fundido, 160 a 320 N/mm²; laminado, 150 a 400 N/mm². Alargamiento 2 a 35%.

Tecnológicas: El aluminio se puede forjar, laminar (incluso en láminas delgadas), estirar, mecanizar con arranque de virutas, fundir y soldar por diversos procedimientos. La termita, empleada para soldar rieles entre otras cosas, es una mezcla de polvo de aluminio y óxido de hierro. En el alumetado se proyecta una mezcla de polvo de aluminio sobre el acero y se quema recociéndolo.

ALEACIONES DE ALUMINIO

Los elementos de aleación más importantes son el cobre, el silicio, el magnesio, el manganeso y el cinc.

El magnesio y el manganeso forman con el aluminio unos cristales mezcla (véase pág. 44). En este caso los átomos extraños disueltos son un obstáculo para los desplazamientos (véase pág. 43), lo que supone un robustecimiento del aluminio. Esta aleación de aluminio se designa como **no endurecible.**

Con el cobre, cinc y silicio, el aluminio forma cristales mezcla a unos 500°C. Si estas aleaciones se enfrían rápidamente, esa textura se mantiene también a temperatura ambiente.

La dureza aumenta si estas aleaciones se almacenan durante algún tiempo. Este tipo de aleaciones se denominan **endurecibles.**

Aleaciones maleables

Están normalizadas en DIN 1725 T1. Semielaborados comerciales son las chapas, bandas, tubos, barras, perfiles y piezas estampadas.

Aleaciones de colada

Están normalizadas en DIN 1725 T2, y se cuelan (en arena, en coquilla y a presión), poseen buenas propiedades de pulimentación, son resistentes a las influencias climatológicas y al agua de mar, son mecanizables por arranque de viruta y soldables. Para caracterizar las aleaciones de aluminio se indican las abreviaturas de los elementos químicos por orden de participación porcentual.

Mecanización

La mecanización de las aleaciones de aluminio se hace con o sin arranque de viruta. La velocidad de corte (hasta 400 m/min) ahorra

tiempo. El arranque de viruta se realiza con acero rápido o metal duro. Como refrigerantes se utilizan aceites, trementina o linimento alcohólico. En la conformación en caliente deben mantenerse las temperaturas con exactitud. La soldadura no presenta ninguna dificultad si se tiene en cuenta la gran conductividad térmica y la dilatación por el calor.

MAGNESIO, símbolo Mg

El magnesio fue obtenido por vez primera en 1808 por Davy, pero impuro. Como metal de consumo adquirió importancia cuando se consiguió prensar aleaciones de magnesio, así como colarlas. Es el metal de consumo más ligero.

Presentación y obtención

Por su abundancia el magnesio ocupa el octavo puesto entre los elementos químicos. En primer lugar se prepara el mineral (magnesita, dolomita, carnalita). La magnesita (químicamente carbonato de magnesio $MgCO_3$) por ejemplo, se prepara eliminando CO_2 para formar óxido de magnesio MgO.

El magnesio puro se obtiene por electrólisis como en el caso del aluminio. En la electrólisis el oxígeno se separa del magnesio.

Propiedades

Físicas: Punto de fusión, 657°C; densidad, 1,74 kg/dm^3, es decir, que 1 kg de Mg tiene aproximadamente 4 veces y media el volumen de 1 kg de hierro.

Químicas: Suficientemente estable en presencia de aire seco. Aplicación: en pirotecnia, como desoxidante y como flash. El magnesio ardiendo hay que apagarlo con arena, ya que el agua aviva la reacción.

Ensayo: Una cinta delgada de magnesio puede encenderse con un fósforo. El magnesio arde con llama clara de olor penetrante, formando óxido de magnesio. El metal puro se transforma pues químicamente en la materia prima de partida.

Mecánica: En forma de metal puro tiene poca resistencia, 110 a 200 N/mm^2.

Tecnológicas: Fácil de mecanizar con arranque de viruta, admite la velocidad máxima de corte, fácilmente conformable y fundible.

ALEACIONES DE MAGNESIO

Por su facilidad de combustión y poca resistencia, el magnesio se emplea solamente aleado.

Las aleaciones son materiales de construcción ligeros. Los principales componentes de aleación influyen en diversas propiedades.

El **manganeso** aumenta la resistencia a la corrosión.

El **aluminio** mejora el comportamiento mecánico.

El **cinc** le comunica gran alargamiento y mucha resistencia.

Igual que las aleaciones de aluminio, están normalizadas en aleaciones maleables y aleaciones de colada.

Ejemplo de aleación de colada magnesio, DIN 1729

Fundición MgAl 8 Zn 1 con 7,5. . .9,0% de aluminio, 0,3. . .1,0% de cinc, 0,15. . .0,3% de Mn, y el resto Mg. Resistencia a la tracción 240. . .280 N/mm^2. La densidad es de 1,8 kg/dm^3, aproximadamente.

Más del 95% de las piezas de aleaciones de magnesio fundidas lo son por el procedimiento a presión. Las piezas son un 30% más ligeras y aproximadamente de la misma resistencia que las de iguales dimensiones de fundición a presión de aluminio.

Estas aleaciones se emplean para piezas de motores (carter de cigüeñal y carcasa de árbol de levas), cuerpos de ventiladores, tableros de instrumentos, máquinas fotográficas, sierras portátiles y piezas similares, que deben ser ligeras.

TITANIO, símbolo Ti

El titanio es el material del futuro, ya que con su densidad baja posee una elevada resistencia.

Propiedades

Densidad 4,55 kg/dm³; punto de fusión 1 668°C; resistente a la corrosión y al calor.

El titanio se alea principalmente con aluminio y vanadio.

Ejemplo: TiAl 6 V 4

Con una resistencia a la tracción de 980 a 1 160 N/mm², la aleación de titanio es un 43% más ligera que el acero más resistente, posee una gran resistencia al calor y a la corrosión, así como una buena resistencia a la fatiga.

Se emplea en aviación, propulsión y construcción de motores (bielas, muelles de válvulas y tornillos de dilatación).

2.4.2 Metales pesados

COBRE, símbolo Cu (cuprum)

Es el metal de consumo más antiguo, y junto con el aluminio es un metal no férreo importante. Resulta inestimable en la electrónica y construcción de maquinaria.

Presentación y obtención

El cobre se presenta principalmente en forma de mineral. Los minerales de cobre importantes son la calcosina (Cu_2S) y la calcopirita ($CuFeS_2$). El elemento que acompaña al cobre, el azufre, se elimina en un horno de calcinación. Se combina con el oxígeno y forma dióxido de azufre (SO_2). El oxígeno prosigue la oxidación del cobre, formando óxido de cobre (CuO).

$$Cu_2S + 2O_2 \rightarrow SO_2 + 2CuO$$

En el horno de cuba se obtiene el cobre bruto por reducción. Mediante afino al fuego y electrólisis se obtiene cobre puro.

Propiedades

Ensayo: Calentar por un extremo un redondo de acero y una varilla de cobre de la misma longitud. Si se sostienen ambos por el otro extremo, se observará una mejor conducción del calor en el cobre que en el acero.

Ensayo: Si se sujeta una bola de acero duro entre una chapa de cobre y otra de acero, con dos mordazas de tornillo de sujeción, y se aprietan, se observará una huella más profunda en la chapa de cobre que en la de acero.

Ensayo: Una chapa de cobre pulido se recubre de una capa de óxido negro si se somete a la acción de una llama.

Ensayo: Si se cubre una chapa de cobre con ácido acético diluido, se forma una capa verde venenosa (cardenillo).

Ensayo: Se conecta a un circuito con una fuente de tensión U = 4 V, una lámpara de incandescencia de 4 V. Si se intercalan al circuito un alambre de hierro y otro de cobre de 1 m de longitud y 0,1 mm^2 de sección, la intensidad luminosa de la lámpara es mucho menor con los alambres intercalados.

Valoración:

Física: Densidad $\rho = 8{,}9$ kg/dm^3; punto de fusión 1084°C; conductibilidad térmica frente al acero, unas ocho veces mejor; conductividad eléctrica frente al acero, unas 7 veces mejor.

Química: En el aire el cobre se oxida formando óxido de cobre (I), CuO; en atmósfera de aire húmedo, el cobre forma con el dióxido de carbono una capa superficial protectora de carbonato de cobre ($CuCO_3$).

Mecánica: Resistencia a la tracción hasta 250 N/mm^2; alargamiento con alambres medios, 30 a 50%; dureza: sólo un 25% de la de acero.

Tecnología: El cobre puede forjarse, laminarse, repujarse, embutirse, mecanizarse con arranque de viruta, colarse y soldarse.

Consideraciones: En el trabajo en frío, por ejemplo el doblado, la retícula cristalina se deforma, aumenta la dureza y la resistencia, pero disminuye el alargamiento de rotura y la tenacidad. Mediante un recocido intermedio a 600°C se elimina la dureza generada.

En estado líquido el cobre absorbe gases (oxígeno, dióxido de carbono), por lo que los bloques de cobre colados presentan poros.

Para el mecanizado con arranque se elige un ángulo de viruta grande. Se forman virutas grandes y rizadas.

ALEACIONES DE COBRE

Las aleaciones de cobre se forman con dos o más substancias. Componentes de las aleaciones son el cinc, el estaño, el níquel, el aluminio y el hierro.

Se distingue entre aleaciones maleables y aleaciones de colada. Las aleaciones de cobre se indican por sus componentes.

Aleaciones de cobre y cinc

Están normalizadas en DIN 17660. Sus propiedades características son buena colabilidad, mecanizabilidad, resistencia a la corrosión y templabilidad en frío. La dureza aumenta con el contenido de cinc. Suelen denominarse con el nombre genérico de *latón* si bien éste lleva otros componentes en pequeñas proporciones en su aleación.

Aleaciones de cobre, níquel y cinc

Están normalizadas en DIN 17663. Mediante la adición de níquel esta aleación adquiere un color blanco de plata. Se emplea para aparatos de precisión, joyas, vitrinas, regletas, cajas de compases. Se conocen con los nombres vulgares de plata alemana y alpaca.

Aleaciones de cobre, DIN 17660 a DIN 17663, ejemplos

Símbolo	Composición en % de masa	Propiedades Aplicaciones
Aleación de cobre y cinc CuZn 39 Pb2	Cu 58,5...59,5 Pb 1,5...2,3 Zn Resto	Troquelable, conformable; poca conformación en frío por plegado, roblonado
Aleación de cobre y estaño CuSn6	Sn 5,5...7,5 Cu Resto	Flejes, cojintes, muelles
Aleación de cobre, níquel y cinc CuNi 12Zn24	Ni 11...13 Zn 24...26 Cu Resto	Compresible, maleable; apropiado para trabajarlo con arranque de viruta

Aleaciones de cobre y estaño

Están normalizadas en DIN 17662. Se componen de un 60% de cobre como mínimo y cinc como principal aditivo. Sus propiedades características son alta resistencia mecánica y a la corrosión, así como buenas cualidades de deslizamiento. Las aleaciones de cobre y cinc se emplean como material para cojinetes, ruedas helicoidales, tubos, membranas, muelles y manómetros. Se conocen con el nombre genérico de bronce.

Aleaciones de cobre y aluminio

Están normalizadas en DIN 17665; las piezas de acero sometidas al ataque del agua y soluciones ácidas pueden ser sustituidas por una aleación de cobre y aluminio; la aleación se compone de un 70% de cobre y como elemento principal aleado el aluminio.

Ejemplos:

CuAl 8 Fe — Chapas para aparatos químicos
CuAl 10 Fe — Piezas resistentes a la oxidación, tales como árboles y tornillos
CuAl 9 Mn — Piezas de cojinetes, ruedas dentadas y tornillos sin fin

Mecanización de una aleación maleable de cobre y cinc

Mediante la conformación en frío aumentan notablemente la resistencia y la dureza, disminuyendo el alargamiento. Después de un recocido suave aumenta el alargamiento y disminuye la resistencia.

Ensayos:

1. Una tira de metal recocido se dobla fácilmente y conserva la forma adquirida.
2. Si la tira de metal se forja en frío, después se dobla con más dificultad y es menos elástica; la dureza y la resistencia han aumentado.
3. Si se somete la tira una vez endurecida a un recocido suave, vuelve a ser blanda y maleable.

CINC, Símbolo Zn

Fue el metal de los alquimistas, pues daba con el cobre un metal parecido al oro. Actualmente es un material valioso y técnicamente importante debido a su buena aleabilidad.

Presentación y obtención

Sus minerales son la calamina $ZnCO_3$ y la blenda ZnS.

Elaboración. En primer lugar se produce un concentrado del 67 al 72% de cinc.

Siderurgia. Con el producto calcinado finamente molido y polvo de carbón se forman briquetas y se reduce con carbono. A continuación se evapora y condensa, obteniéndose cinc líquido. El cinc metalúrgico que se vende en el comercio es con un 99,5% de cinc. El cinc refinado, con 99,995% de cinc, se obtiene mediante destilación o electrólisis.

Propiedades

Físicas: Densidad, $\rho = 7{,}13$ kg/dm^3; punto de fusión 419°C.

Químicas: Buena resistencia a la corrosión; con el oxígeno el cinc forma un óxido impermeable, ZnO.

Mecánicas: Resistencia a la tracción hasta 140 N/mm²; es quebradizo, pero calentado a 120°C se puede mecanizar fácilmente, a 205°C es nuevamente quebradizo; se une bien al metal base en la operación de cincado.

Tecnológicas: Tiene gran importancia como anticorrosivo (cincado al fuego, a pistola o galvánico) y como componente de aleaciones; en la mecanización deben emplearse limas de estriado no cruzado; el cinc es colable. Formas comerciales: bloques, barras, chapas, alambre.

ALEACIONES DE CINC

Las aleaciones de cinc son de dos o tres substancias. Frente al cinc puro son más mecanizables y tienen mayor resistencia, hasta 250 N/mm². El cinc se alea con el aluminio y el cobre.

Las **aleaciones maleables** son coladas de cinc siderúrgico, cinc recuperado y aditivos.

Aplicación: Chapas, barras, piezas estampadas.

Las **aleaciones de colada**, DIN 1743, se elaboran en arena, en coquillas y a presión. Se caracterizan por su buena colabilidad y precisión dimensional.

La propiedad más importante de la fundición de Zn es que es muy fluida y que como fundición a presión rellena modelos complicados.

La capa exterior del metal líquido solidifica rápidamente en el modelo, volviéndose sólida y densa. En el interior se mantiene una textura más o menos porosa. Generalmente no se requiere mecanizado posterior con arranque de viruta. La resistencia a la tracción es de unos 200 N/mm². Las temperaturas superiores a 80°C producen una reducción de la resistencia, y a 0°C se presenta fragilidad.

Aleaciones de colada de cinc afinado, DIN 1743, ejemplo

Símbolo	Composición en %	Aplicación
GD-ZnAl 4 (aleación fundida a presión)	Al 3,5...4,3 Cu 0...0,6 Mg 0,02...0,06 Resto Zn	Para altas exigencias de precisión dimensional

ESTAÑO, Símbolo Sn (stannum)

La aleación cobre-estaño (bronce) dio el nombre de Edad del Bronce a una época prehistórica.

Presentación y obtención

Mineral: El mineral más importante es la casiterita, SnO_2.

Elaboración: En primer lugar se produce un concentrado que contiene del 60 al 70% de estaño.

Siderurgia: En hornos de cuba o de llama se libera al mineral del oxígeno (reducción). El metal bruto se purifica mediante separación por fusión o por electrólisis (refinado).

(La separación por fusión consiste en desmezclar varios metales aprovechando los diferentes puntos de fusión.)

Propiedades

Físicas: Densidad, $\rho = 7{,}3\ kg/dm^3$; punto de fusión, 232°C.

Químicas: Resistente a la corrosión frente al aire, agua, muchas lejías y ácidos.

Mecánicas: Resistencia a la tracción, aproximadamente 30 N/mm²; alargamiento hasta el 40%.

Soldadura blanda para metales pesados, DIN 1707, Ejemplos

Símbolo	Composición en % y campo de fusión	Aplicaciones
L-PbSn 35 Sb con antimonio	Sn 34,5...35,5 Sb 0,5...2,0 Resto Pb 186 °C...225 °C	Soldadura para cobre, estaño, cinc con soldador y llama
L-Sn 50 Pb (Sb) estaño-plomo pobre en antimonio	Sn 49,5...50,5 Sb 0,12...0,5 Resto Pb 183 °C...215 °C	Estañado soldadura blanda fina, industria eléctrica.
L-Sn 60 PbAg	Sn 59,5...60,5 Ag 3,0... 4,0 Resto Pb 178 °C...180 °C	Electrónica, mecánica de precisión, construcción de aparatos eléctricos

Tecnológicas: No venenoso, fácil de conformar y muy ductil. A +200°C el estaño se vuelve frágil y quebradizo; por debajo de −20°C se convierte en polvo (peste del estaño). El fenómeno obedece a un aumento de volumen motivada por descomposición del conjunto reticular.

Al doblar tiras de estaño fundido, los cristales rozan entre sí y producen un ruido, el «grito del estaño».

El estaño es dúctil y por tanto se puede laminar bien, repujar y martillar. Se pueden obtener láminas de hasta 0,01 mm de espesor (papel de estaño).

El estaño es muy fluido en estado fundido y muy colable. Se emplea como metal de recubrimiento, p. ej., hojalata, cuando no contiene plomo.

Ensayos:

1. Calentar estaño en una cuchara de acero y observar como se forma ceniza.
2. Martillar una chapa de plomo y otra de estaño y ver que sucede con la dureza y la deformabilidad.

ALEACIONES DE ESTAÑO

Los elementos importantes de aleación son el cobre, el plomo y el antimonio.

Las aleaciones de estaño por colada a presión, con 12 a 18% de Sb, 4,5% de Cu y cantidades variables de Pb, poseen una resistencia a la tracción de 80 a 110 N/mm². Por inyección a presión del caldo en moldes metálicos se pueden fabricar piezas pequeñas con una precisión de ± 0,005 mm sobre la cota nominal. Estas piezas no precisan ningún mecanizado posterior.

Hay que poner especial cuidado en eliminar el aire de los modelos.

La designación de las aleaciones de estaño por colada a presión es p. ej., GD-Sn 78 con 78% de Sn, cantidades variables de Sb, Cu y Pb.

Debido al alto coste de los moldes, la fundición por presión solo es adecuada para fabricar piezas en serie que no tengan grandes exigencias en cuanto a resistencia, p. ej., piezas para aparatos de radio y televisión, rodillos de números, piezas de accionamiento para contadores de gas y agua.

La soldadura con metales blandos se subdivide en:

Grupo A: Soldadura blanda de plomo-estaño y estaño-plomo, pudiendo contener también antimonio.
B: Soldadura de estaño-plomo con adición de cobre o plata.
C: Soldadura blanda especial.

La designación de la soldadura con metales blandos se hace mediante el prefijo «L», con indicación del contenido en estaño o plomo.

PLOMO, Símbolo Pb (plumbum)

Es el metal de uso más antiguo y el más blando de los metales pesados. Recién cortado o fundido es blanco plateado; con el tiempo se recubre de una capa gris azulada debido a la oxidación. El plomo es venenoso y no debe estar en contacto con los alimentos.

Presentación y obtención

Minerales: Importantes minerales de plomo son la galena (PbS) y los minerales mezclados.

Elaboración: En primer lugar se produce un concentrado enriquecido.

Siderurgia: Por calcinación y reducción —generalmente en hornos de cuba— se obtiene el plomo de obra.

Por **refinación** se obtiene plomo puro.

Propiedades

Físicas: Densidad, $\rho = 11{,}34$ kg/dm³, punto de fusión, 327°C.

Químicas: muy resistentes a la corrosión, incluso frente a la mayoría de los ácidos, pero no al agua regia (mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico). ¡Venenoso!

Mecánicas: La resistencia, dureza y elasticidad son bajas, p. ej., 15 N/mm² de resistencia a la tracción; alargamiento hasta el 60%.

Tecnológicas: Poca resistencia a la deformación, pero muy conformable. Es preferible la conformación en frío. El plomo se puede soldar por diversos procedimientos (estaño, etc.) y colar fácilmente. Se puede aplicar sobre otros metales.

El plomo puro se emplea para cubrir tejados, para depósitos de ácidos, cables, cintas, estancar juntas, balas, protección contra radiaciones, en los carburantes como antidetonante, para marchamos y para aleaciones.

ALEACIONES DE PLOMO

Las aleaciones de plomo con 8 a 10% de Pb se emplean como metal de cojinetes, revestimiento de cables, placas de acumuladores, etc. El antimonio endurece la aleación. Combinaciones de plomo son, entre otras, el minio y el blanco de plomo. El cristal de plomo posee un elevado índice de refracción de la luz.

Los **metales antifricción** son aleaciones de plomo y estaño para cojinetes de fricción. Aleado también con antimonio recibe el nombre de metal antifricción blanco.

Ejemplo:

LgPbSn 9 Cd con 9% de estaño (Sn), 15% de antimonio (Sb), 1% de cobre, y 0,5% de cadmio (Cd).

Posee buenas propiedades de deslizamiento, capacidad de suavizado y conducción del calor. La aleación se aplica sobre apoyos de acero, acero moldeado o fundición.

Aleaciones de plomo, DIN 1703, ejemplos

Símbolo	Composición en %	Aplicaciones
LgPbSb 12 (plomo duro para cojinetes)	Sb 10,5...13 Cu 0,3...1,5 Ni 0...0,3 As 0...1,5 Resto Pb	en construcción de maquinaria, buena adherencia sobre acero, para casquillos de cojinetes
Pb (Sb)	Sb 0,2...0,3	Tubos de desagüe
PbSbAs	Sb 2,0...3,8 As 1,2...1,7	Perdigones

2.5 Materiales sinterizados

2.5.1 Conceptos fundamentales

FABRICACIÓN Y PROPIEDADES

Las materias primas en polvo se comprimen para formar cuerpos y compactan mediante un proceso de recocido (= sinterizado).

La metalurgia del polvo o pulvimetalurgia se ocupa de la fabricación de polvo de metales, del prensado de este polvo para formar piezas y del sinterizado, que es un tratamiento térmico en el que las piezas formadas, compactan por debajo del punto de fusión.

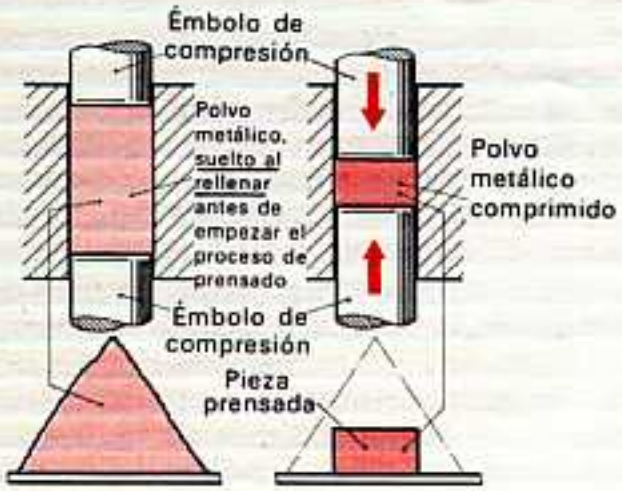


Figura 2-71. Etapas de fabricación.
Con el prensado se reducen los espacios huecos, aumentando las superficies de contacto entre las partículas de polvo.

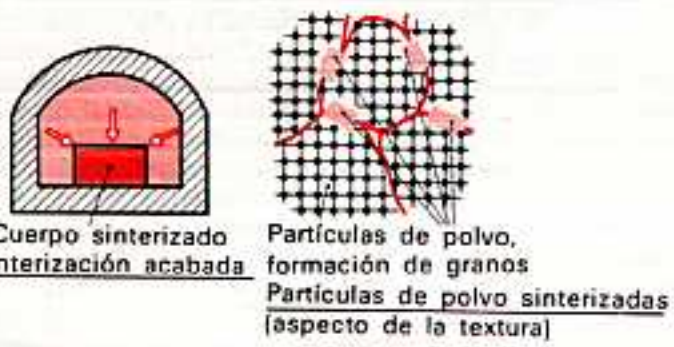


Figura 2-72. Tratamiento térmico.
Con la compresión y el calor aparece la fluencia plástica y se forman granos.

Mediante el sinterizado es posible compactar entre sí varias substancias que solamente pueden alearse con dificultad, y con las cuales se consigue una gran dureza, resistencia, buen efecto de corte o buen deslizamiento. Las materias primas empleadas son, p. ej., hierro, cobre, estaño, grafito, níquel, tungsteno, titanio, cobalto, tántalo y molibdeno.

Un inconveniente es que el moldeado de las piezas sinterizadas sólo puede hacerse en una dirección, o sea en la dirección del émbolo, pero no transversalmente.

Etapas de la fabricación

a) **La fabricación del metal en polvo** tiene lugar por machaqueo y molienda,, por pulverización o trituración de la substancia de partida hasta convertirla en polvo.
b) **Tratamiento del polvo.** Para eliminar los óxidos y la humedad, el polvo se recuece. A continuación se mezcla de acuerdo con la composición deseada, añadiendo un producto deslizante (estearato de cinc).
c) **Prensado del polvo.** Para dar forma por compresión se emplean prensas mecánicas o hidraúlicas. La densidad deseada depende de la presión. Con las prensas de doble efecto se consigue una compresión uniforme.
d) **Sinterizado de las piezas prensadas.** En hornos cerrados, la substancia en polvo prensada, se calienta hasta los 4/5 de la temperatura de fusión. Las distintas partículas de polvo se aglutinan así uniendo sus retículas.

Formación de la textura sinterizada

Las partículas de polvo sueltas sólo se tocan en unos pocos puntos, de forma que la cohesión entre ellas es muy pequeña. Por efecto de altas presiones (40 a 80 kN/cm²) se aumenta la superficie de contacto entre las partículas de polvo, y con ello su cohesión. Calentando las piezas prensadas hasta las proximidades de la temperatura de fusión, aparece una fluencia plástica. En los límites de los granos de polvo, los átomos de la substancia se desplazan y forman nuevos granos. La formación de estos granos se realiza en diferentes direcciones, reduciendo los poros que existen. Las partículas se bloquean y forman una textura de sinterización igual a 1/7 aproximadamente del volumen primitivo. De esta forma las fuerzas de adherencia entre las partículas son totalmente efectivas, la pieza se ha vuelto sólida y dura. Las propiedades de los componentes del polvo pueden mejorarse en conjunto; así por ejemplo, la resistencia al calor del tungsteno, la resistencia del titanio, la resistencia a los ácidos del cobre o del níquel, o la dureza del molibdeno.

Una característica importante de los cuerpos sinterizados es el volumen de poros existente después del sinterizado. Dicho volumen depende de la compresión.

Clase	% de volumen poroso	Ejemplos de aplicaciones
SINT-A	hasta 60%	Filtros
SINT-B	hasta 30%	Cojinetes de fricción, forros
SINT-C	hasta 20%	Piezas de forma para máquinas coser y oficina
SINT-D	hasta 15%	Piezas para máquinas (cementables, soldables)
SINT-E	hasta 10%	Piezas para relés (resistencia elevada)
SINT-F	hasta 7%	Segmentos dentados, cremalleras, contactos

Las cifras según la clase, p. ej., SINT-B 30 son los índices de los componentes de la aleación.

2.5.2 Aplicaciones

MATERIALES SINTERIZADOS DE IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA

Cojinetes de fricción autolubricantes. El polvo sinterizado de las aleaciones de cobre y estaño que se emplea como material para cojinetes, puede absorber aceite hasta el 30% de su propio volumen. El sinterizado forma canales capilares finos que absorben el aceite y lo desprenden cuando gira el eje, lubrificándolo.

Metales duros

Plaquitas de corte para herramientas. La mayoría de los aceros aleados pueden utilizarse hasta una temperatura de 400 a 600°C. A temperaturas más altas pierden dureza y resistencia. Los materiales sinterizados conservan todavía una dureza suficiente a temperaturas de 1200 a 1500°C (diagrama al margen).

Los **metales duros** se componen de carburos duros de tungsteno, titanio o tántalo (los carburos son combinaciones de un metal con carbono). Estos compuestos se incrustan o acoplan a un aglomerante metálico tenaz de cobalto o níquel. Mediante un prensado y sinterizado previos se obtiene primero un material preliminar, del que se cortan las plaquitas de corte deseadas. En el sinterizado de acabado, junto a la fase sólida se presenta otra líquida en la que el tungsteno, el cobalto y el carbono forman una solución. Después del sinterizado sólo es posible el mecanizado con muela.

Los metales duros se suministran en forma de plaquitas que se sueldan con latón a un mango o se engarzan. Antes de efectuar la soldadura al latón hay que fijar la posición de la plaquita por medio de un alambre. Como material de soldar se emplea latón o cobre electrolítico. Las flechas de la figura 2-75 indican que la resistencia al desgaste del metal duro aumenta a costa de su tenacidad y viceversa. Mediante un recubrimiento de carburo de titanio (TiC) y nitruro de titanio (TiN) se consigue una elevada resistencia al desgaste y gran tenacidad.

En las plaquitas reversibles de metal duro, los núcleos tenaces de metal duro se recubren de una capa superficial de TiC/TiN resistente al desgaste.

Cerámica de corte

Los materiales resistentes a las altas temperaturas, o Cermets, poseen componentes cerámicos tales como óxido de aluminio

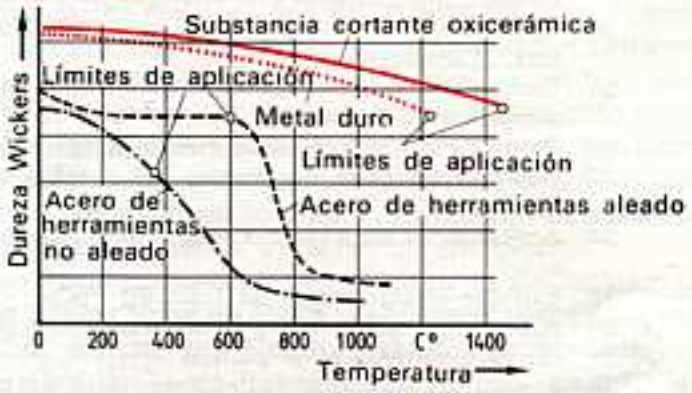


Figura 2-74. Dependencia entre dureza y temperatura de trabajo de diferentes materiales para arranque de viruta.

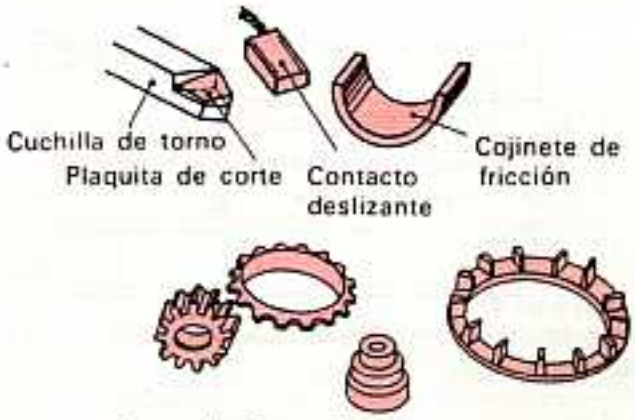


Figura 2-73. Aplicaciones de los materiales sinterizados.

Letra característica	Grupo principal de arranque de viruta	Color característ.	Grupos de aplicación del arranque de viruta
P	Materiales de viruta larga acero y fundición maleable	Azul	P 01 ↑ P 10 ↓ P 50
M	Materiales de viruta larga o corta	Amarillo	M 10 ↓ M 40
K	Materiales de viruta corta, fundición maleable y dura, plásticos	Rojo	K 01 ↑ K 10 ↓ K 40

Normalización según ISO y DIN 4976

1 2

1. Velocidad de corte y resistencia al desgaste crecientes
2. Tenacidad y avance crecientes

Figura 2-75. Simbolización ISO de los metales duros.

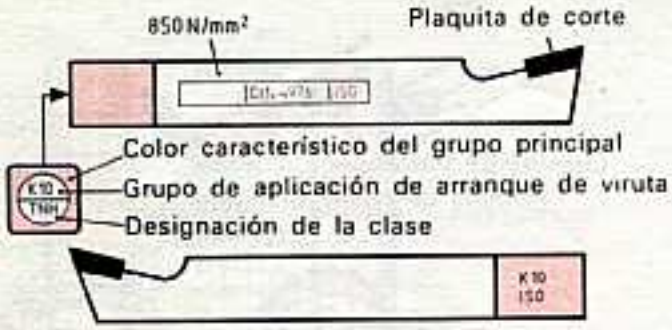


Figura 2-76. Simbolización de una cuchilla de torno con plaquita de corte.

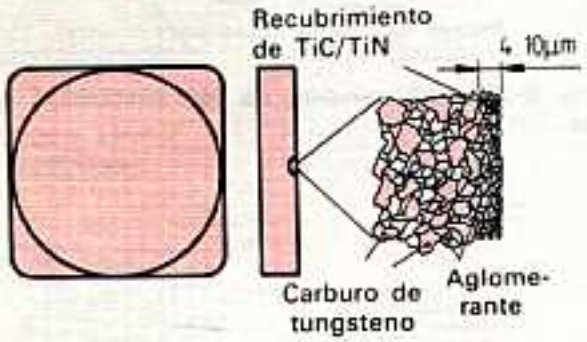


Figura 2-77. Plaquita de corte reversible, recubierta.

(Al₂O₃) o dióxido de silicio (SiO₂), así como componentes metálicos tales como el cobalto (CO), cromo (Cr) y hierro (Fe). Si en lugar de los metales se utilizan óxidos metálicos, resultan los llamados materiales oxicerámicos.

Las substancias de partida metálicas y cerámicas **no** se pueden alear entre sí, sino tan sólo sinterizarse. Estas substancias combinadas se designan con el nombre de **Cermet** (ceramic metals). En la sinterización se conservan las buenas propiedades de las substancias de partida, tales como la gran dureza del óxido de aluminio o la buena resistencia y tenacidad favorables del cromo. Las plaquitas de corte se componen, p. ej., de óxido de aluminio como portador de dureza y polvo metálico como aglomerante. Las substancias se sinterizan, obteniendo de esta forma su dureza y resistencia a la temperatura. Son más baratas que el metal duro y se suministran generalmente como plaquitas de corte reversibles, es decir, que no se afilan. Las plaquitas de corte se fijan a mangos de soporte y pueden emplearse varias veces dándoles la vuelta. La velocidad de corte puede ser dos veces superior a la de los metales duros.

El **diamante** es la substancia cortante más dura. Con soportes adecuados, o en forma de discos de rectificar, permite mecanizar el metal duro.

Ejercicios

MATERIALES DE METALES NO FÉRREOS

Metales ligeros

1. Comparar la densidad, el punto de fusión y el comportamiento químico del aluminio y el magnesio.
2. Presentación y obtención del magnesio.
3. Opinión sobre los materiales: MgAl 3 Zn, G-MgAl 19 Zn 2.
4. En el aire, y a pesar de su elevada tendencia a combinarse con el oxígeno, el aluminio es más resistente a la corrosión que el acero no aleado. ¿Cómo se explica esto?
5. «Las aleaciones de aluminio no templable» están caracterizadas por un grado de endurecimiento. Indicar la designación y los elementos de aleación.
6. Con los elementos Cu, Zn y Si pueden obtenerse aleaciones templables de aluminio. ¿Cómo se consigue esto?
7. Explicar el significado de AlMg 5, AlSi 5, AlCuMgPb, G-AlSi 7 Cu3, G-AlCu 5 Si 3.
8. Aspectos importantes de la mecanización de las aleaciones de aluminio por arranque de viruta.
9. Posible tratamiento superficial del aluminio.
10. Citar aplicaciones de una aleación maleable y de una aleación colable, ambas de aluminio.
11. Citar las ventajas de las piezas que se fabrican de aleaciones de colada de magnesio a presión.
12. Indicar algunas aplicaciones de las aleaciones de colada de magnesio a presión.

Metales pesados

13. Comparar la densidad, el punto de fusión y el comportamiento químico del cobre y el aluminio.
14. Comparar la resistencia y el alargamiento del cobre y el aluminio.
15. Comparar la conductividad eléctrica y térmica del acero, del cobre y del aluminio.
16. Comparar la estabilidad del aluminio y el cobre frente al aire.
17. Citar aplicaciones del cobre.
18. Comparar la densidad y el punto de fusión entre el acero y el cobre.
19. Comparar las propiedades de una aleación de cobre y cinc, con las de otra de cobre y estaño.
20. ¿Qué se entiende por «conformación en frío»?
21. Explicar las designaciones: CuZn 40, CuZn 39 Pb 3, CuSn 6, CuNi 25 Zn 15 (véase página 79).
22. Aplicaciones de las aleaciones de cobre y cinc y de las de cobre y estaño.
23. Explicar la aleación CuAl 10 Fe y dar una aplicación de ella.
24. Resumir las aplicaciones del cinc.
25. ¿Qué procedimientos se emplean en el cincado?
26. ¿Cómo se comporta el cinc frente al oxígeno, el agua y los ácidos?
27. Los vapores de cinc son venenosos. ¿En qué proceso de trabajo debe tenerse esto en cuenta?
28. ¿Por qué debe calentarse el cinc para trabajos de plegado?
29. Las piezas coladas de cinc no requieren por lo general ningún mecanizado posterior con arranque de viruta. Decir por qué.
30. La resistencia a la tracción del cinc depende de la temperatura. ¿Cuándo es crítica?
31. Comparar la densidad, el punto de fusión, la resistencia y el alargamiento del estaño y del plomo.
32. Propiedades del estaño para trabajos de fundición y repujado.
33. ¿Qué se entiende por «peste del estaño» y por «grito del estaño»?
34. Aplicaciones diversas del estaño puro y de las aleaciones de estaño.
35. Explicar el significado de L-Sn 60 PbCu.
36. ¿Que propiedades tecnológicas especiales posee el plomo?
37. ¿En qué se emplea el plomo?
38. Explicar las aplicaciones del plomo duro, del minio, del plomo blanco y del cristal de plomo.
39. ¿Cómo se comporta el plomo frente al aire, agua y ácidos? Prevención contra el envenenamiento por plomo.

Materiales sinterizados

40. Explicar la diferencia entre fusión y sinterizado de metales.
41. Describir la fabricación de materiales sinterizados. ¿Cómo se explica la compactación del polvo metálico provocada por el sinterizado? ¿Cómo se explica la dureza y la resistencia al calor de un material sinterizado?
42. Mediante sinterizado pueden unirse materiales con punto de fusión muy diferente, p. ej., el cobre a 1083°C y el tungsteno a 3380°C. ¿Cómo se explica esto?
43. Comparar la resistencia al calor de los aceros de herramientas aleados, con la de los materiales sinterizados a 600°C.
44. ¿Qué composición pueden tener los metales duros?
45. ¿En qué grupo de arranque de viruta se subdividen los metales duros?
46. Aplicación de la plaquita de corte, de metal duro, K 20 ISO.
47. Indicar el metal duro necesario para mecanizar: a) hierro fundido aleado; b) aleación de cobre y cinc; c) fundición maleable con viruta larga.
48. ¿Cómo puede mecanizarse el metal duro?
49. Explicar el origen de la designación Cermet.
50. Composición y propiedades de los Cermet.
51. Comparar las herramientas de corte de metal duro con las de Cermet en cuanto a velocidad de corte posible.
52. ¿Qué se entiende por plaquitas de corte reversibles?
53. Citar aplicaciones de la cerámica de corte.
54. En el proceso de prensado de los materiales en polvo puede conseguirse una densidad baja o alta de poros en las piezas sinterizadas. ¿Qué se entiende por esto y cómo se consigue?
55. El porcentaje de poros puede ser, p. ej., 60% para filtros, 30% para cojinetes de fricción impregnados de aceite, 20% para piezas de construcción. a) ¿Qué quiere decir esto? b) Citar las clases correspondientes de material sinterizado.
56. ¿Por qué puede hablarse de ahorro de energía en la fabricación de materiales sinterizados, frente a las aleaciones metálicas?

2.6 Normalización de los materiales metálicos

2.6.1 Designación del acero

Normalizar significa unificar materiales, formas y tamaños.

SUBDIVISIÓN DE LOS TIPOS DE ACERO

En la EURONORM se hace la subdivisión de los tipos de acero según su composición química y sus propiedades.

Aceros no aleados. El porcentaje aleado no alcanza los límites indicados en la tabla.

Aceros aleados. El porcentaje de un elemento aleado alcanza o sobrepasa, como mínimo en un elemento, el límite fijado.

Subdivisión según las propiedades al uso

Los **aceros básicos** son de escasa pureza y homogeneidad de textura. No están aleados ni son adecuados para tratamiento térmico (bonificado, temple superficial).

Los **aceros de calidad** presentan una pureza mayor y unas características superficiales mejores que los aceros básicos. Pueden ser no aleados o aleados. Los aceros de calidad no aleados son en general aceros de construcción para plegar y perfilar en frío, barras y alambre laminado para estirado y chapas para embutición profunda, así como aceros para conformación en frío y en caliente. Los aceros de calidad aleados son aceros de construcción de grano fino, con alto límite de fluencia. Se emplean como aceros para tornos automáticos, para chapas, bandas, muelles y piezas de desgaste.

Los **aceros finos** poseen un bajo contenido de inclusiones no metálicas. Los aceros finos no aleados son apropiados para el tratamiento térmico, siendo, los aleados, aceros de construcción de grano fino con un límite de fluencia garantizado, de 420 N/mm² como mínimo. Se emplean para aceros de construcción, aceros para herramientas y aceros con propiedades especiales.

Designación	Número del material	Material
Soporte	1.0038	RSt 37-2
Engranaje cónico	1.1141	Ck 15
Carcasa	0.7040	GGG-40

Figura 2-78. Con la normalización pueden designarse abreviada y claramente los materiales.

Elementos de aleación		Contenido límite en % de masa
Aluminio	Al	0,10
Cromo	Cr	0,30
Cobalto	Co	0,10
Manganeso	Mn	0,80
Níquel	Ni	0,30
Silicio	Si	0,50
Titanio	Ti	0,05
Wolframio (tungsteno)	W	0,10
Vanadio	V	0,10

Figura 2-79. Subdivisión de las clases de acero según los componentes aleados.



Figura 2-81. Sistema de designación.

DESIGNACIÓN DE LOS TIPOS DE ACERO

La designación se hacía hasta ahora según DIN 17006. Sin embargo esta norma se ha retirado. Hasta que aparezca la correspondiente norma ISO se forman abreviaturas por el sistema descrito en DIN 17006.

Una designación completa consta de la **parte de fabricación**, de la **parte de composición** y de la **parte de tratamiento.**

En la **parte de fabricación** hay sólo letras, las cuales indican el tipo de fusión, así como las propiedades que resultan de la misma.

En la **parte de composición** figuran cifras y letras que indican las propiedades de uso, resistencia a la tracción, composición química y/o grupo de calidad.

En la **parte de tratamiento** figuran cifras y letras, que indican el tipo de conformación, el tratamiento térmico y el ámbito de la garantía.

ACEROS BÁSICOS

Clases de aceros básicos
R_m mayor que 690 N/mm² y menor que 0,05% P y S.
Contenido de carbono ≥ 0,10%

ACEROS DE CALIDAD

Aceros de calidad no aleados	Aceros de calidad aleados
Aceros de construcción en general, con $R_m \leq 500$ N/mm². Otros con ≤ 0,10% C. Contenido de P y/o S hasta 0,045%	

ACEROS FINOS

No aleados	Aleados
Acero fino	Acero fino
Aceros de construcción	Acero de construcción con acero resistente al desgaste, con acero de rodamientos
Acero de construcción 1.ª a 3.ª calidad	Acero de herramientas con acero rápido
	Acero resistente químicamente con acero inoxidable y acero resistente a las altas temperaturas

Contenido en P y/o S hasta 0,035%

Figura 2-80. Subdivisión de las clases de acero según las exigencias en sus propiedades de utilización.

DESIGNACIÓN DE LOS ACEROS NO ALEADOS

Los aceros no aleados se designan indicando la resistencia a la tracción o su contenido en carbono.

A los aceros básicos y a los aceros de calidad no aleados, denominados «aceros de construcción en general», se les asignan las letras St y el índice de la calidad (este número, multiplicado por 9,81 y redondeado, da como resultado la resistencia garantizada mínima a la tracción, en N/mm²), así como la cifra característica del grupo de calidad. Excepciones: St2, St3, St4 según DIN 1624.

Ejemplos:

St 37-2

Es un acero corriente de construcción con $37 \times 9{,}81\ N/mm^2 \approx 360\ N/mm^2$ de resistencia a la tracción y grupo de calidad 2 (véase pág. 73).

StE 36

Si en los aceros de construcción se da importancia al límite de elasticidad, se pone detrás de St la letra E. La cifra característica indica entonces el límite de fluencia.

C 55

A los aceros de calidad no aleados, adecuados para el tratamiento térmico, se les asigna el símbolo C con la cifra característica del carbono, que es el contenido en carbono multiplicado por 100.

Ck 45; Cf 53; Cm 35; Cq 35

Para caracterizar la diferencia de los aceros finos no aleados, detras de la C se ponen letras con los siguientes significados:

k = Aceros finos con bajo contenido en fósforo y azufre
f = Acero para temple a la llama y por inducción
m = Aceros finos con indicación del contenido máximo y mínimo de azufre.
q = Aceros de cementación y bonificación adecuados para recalcado en frío.

DESIGNACIÓN DE LOS ACEROS ALEADOS

Los aceros aleados se designan según su composición química

En las normas se recogen principalmente aceros de baja aleación, tal como se emplean en construcción.

En los aceros de baja aleación, la suma de los componentes aleados está por debajo del 5% de la masa. Los aceros de alta aleación son los que poseen unos componentes aleados en proporción superior al 5%. Antes de la indicación del material se pone una X.

En las abreviaturas de los materiales se hacen figurar solamente los elementos aleados necesarios para la caracterización del acero.

Los **números de aleación** detrás de los símbolos indican el porcentaje de elementos aleados.

El contenido medio nominal de los elementos aleados resulta de dividir el número característico por el multiplicador fijado para este elemento.

$$\text{Porcentaje} = \frac{\text{Número característico de la aleación}}{\text{Multiplicador}}$$



Figura 2-82. Subdivisión de los aceros no aleados.

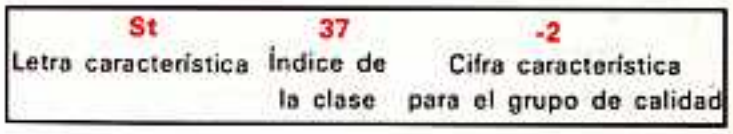


Figura 2-83. Nombre abreviado para una clase de acero.



Figura 2-84. Designación abreviada de los aceros no aleados.

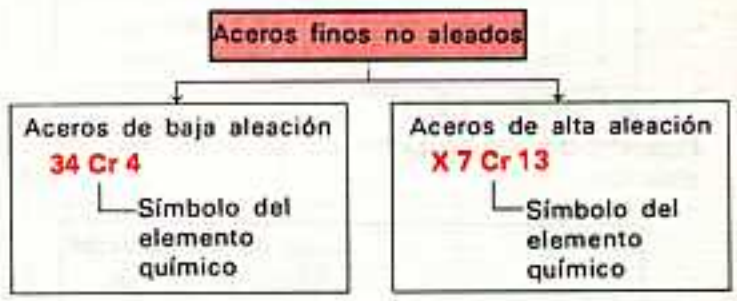


Figura 2-85. Subdivisión de los aceros aleados.

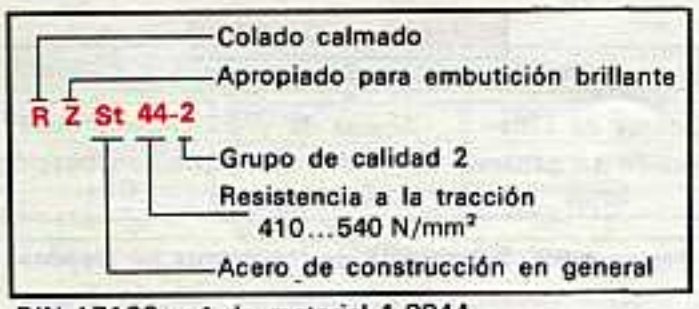
CODIFICACIÓN DE LAS DESIGNACIONES NORMALIZADAS DEL ACERO

Parte de fabricación

Las letras características antepuestas al nombre abreviado indican el grado de desoxidación.

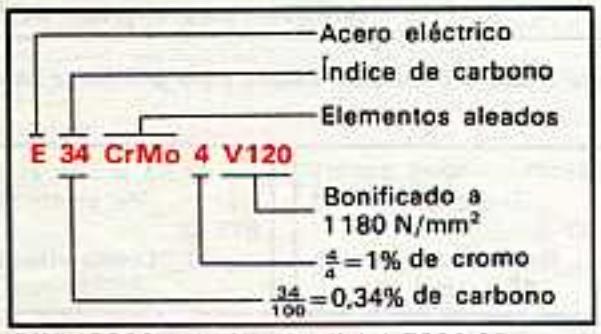
U = acero colado no calmado
R = acero colado calmado
RR = acero colado especialmente calmado

Ejemplos: USt 37-2; RSt 37-2



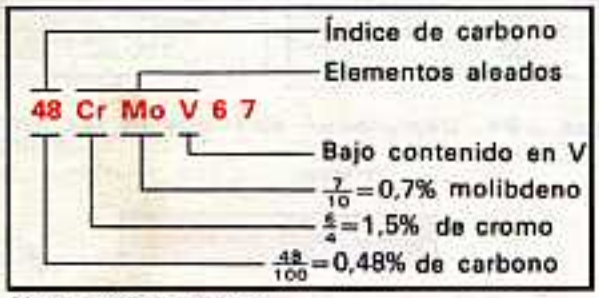
DIN 17100, n.º de material 1.0044

Figura 2-86. Acero de construcción general.



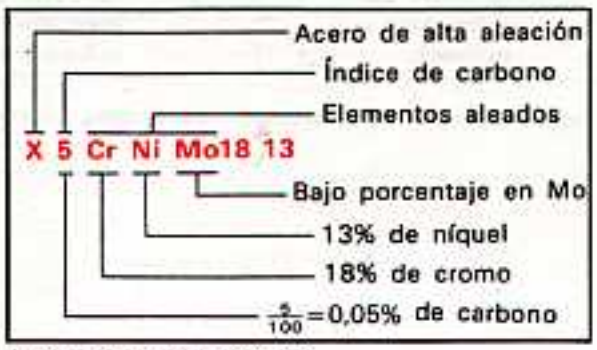
DIN 17200, n.º de material 1.7220.05

Figura 2-87. Acero de construcción aleado.



N.º material 1.2323

Figura 2-88. Designación de un acero fino de baja aleación.



N.º de material 1.4439

Figura 2-89. Designación de un acero fino de alta aleación.

	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
Límite de alargamiento	×			×		×	×		
Ensayo de recalcado		×		×	×		×		
Trabajo de resiliencia			×		×	×	×		
Resistencia al calor								×	
Propiedades eléctr./magn.									×

Figura 2-90. Cifra característica en cuanto al campo de la garantía.

Parte de composición

El nombre abreviado se compone de las letras características, del índice de la clase y eventualmente de la cifra característica del grupo de calidad o de los símbolos e índice de los elementos químicos.

A los nombres abreviados pertenecen también las letras características que indican propiedades de utilización especiales:

Q = adecuado para conformación en frío
Z = adecuado para estirado brillante
P = adecuado para estampación
K = adecuado para laminación de perfiles
Ro = adecuado para la fabricación de tubos soldados
S = especialmente apropiado para soldar
TT = aceros con indicación de la tenacidad a bajas temperaturas
W = Aceros resistentes al calor
A = Aceros resistentes al envejecimiento

Ejemplos: RQSt 37-2; RZSt 37-2; RPSt 37-2; RKSt 37-2; RRoSt 37-2.

Índice de carbono

En primer lugar figuran los datos sobre el contenido en carbono. No hace falta el símbolo C del carbono. El porcentaje de carbono se indica en

Ejemplo: Acero de cementación aleado: 20 MnCr 5; el índice de carbono es 20; el acero contiene 20/100 = 0,2% de carbono.

Multiplicador para las substancias añadidas

Los multiplicadores no son los mismos para todos los elementos aleados. Se colocan detrás de la abreviatura de la aleación, en la misma secuencia que aquéllos.

Multiplicador 4	Multiplicador 10	Multiplicador 100
Cromo Cr Cobalto Co Manganeso Mn Níquel Ni Silicio Si Tungsteno W	Aluminio Al Molibdeno Mo Titanio Ti Vanadio V	Carbono C Fósforo P Azufre S Nitrógeno N

Ejemplo: Acero de cementación aleado 20 MnCr 5
Los elementos de aleación son el manganeso y el cromo
El porcentaje de manganeso es 5/4 = 1,25%

Aceros de alta aleación

Son aceros con más del 5% en masa de componentes aleados. Antes de la indicación del material se pone una X. Todos los componentes de la aleación poseen el multiplicador 1; para el carbono es 100.
Ejemplo: acero inxodable X 5 CrNiMo 18 13.

Parte de mecanización

Las letras informan sobre las propiedades alcanzadas por la elaboración posterior.

El significado es:

U = no tratado
V = bonificado
N = normalizado
E = cementado
B_G = recocido por textura
B_F = recocido por resistencia
A = revenido
TM = tratado termomecánicamente

Ejemplos: Ck 35 N; 34 Cr4 V

Nombre abreviado	**St 37-3**
Número del material	1. 01 16
Grupo principal 1 (acero)	
Clase 01, acero de calidad no aleado (acero de construcción en general)	
Propiedades mecánicas determinadas en DIN 17100	

Nombre abreviado	**25 CrMo 4**
Número del material	1 72 18
Grupo principal 1 (acero)	
Clase 72, acero fino de baja aleación (acero de construcción con menos del 0,35% de Mo)	
Acero con 1% de Cr, 0,25% de C, 0,7% Mn, 0,2% de Mo, 0,35% de P y S. Propiedades mecánicas determinadas en DIN 17200	

Acero básico	1.0035	St 33-2
Acero de construcción en general	1.0123	QSt 37-3
Acero de calidad, no aleado (acero bonificable)	1.0535	C 55
Acero fino, no aleado (acero de construcción)	1.1203	Ck 55
Acero fino, de baja aleación (acero de herramientas)	1.2162	21 MnCr 5
Acero fino, de alta aleación (acero inoxidable)	1.4432	X 2 CrNiMo 19 14

Figura 2-91. Nombre abreviado y número del material de diferentes aceros.

Clase de acero básico y de calidad	Acero fino				
	Acero fino no aleado	Acero fino aleado			
		Acero de herramientas	Grupos de aceros diversos	Aceros resistentes a productos químicos	Aceros de construcción
00 Aceros básicos USt 37-2 St 60-2	Aceros de construcción 11 Cm 35 12 Ck 55	20 Aleado con Cr 105 Cr 4 21 Aleado con Mn 21 MnCr 5 22 Aleado con CrV 115 CrV 3 23 Aleado con CrMo 21 CrMo 10 24 Aleado con W 105 WCr 6 27 Aleado con Ni 50 NiCr 13 28 Aleado con V 145 V 33	Aceros rápidos 32 S 12-1-4-5 33 S-3-3-2 Aceros resistentes al desgaste 34 X 110 Mn 14 Acero para rodamientos 35 100 Cr 6 (W 3) Acero con propiedades magnéticas 37 AlNiCo 350	Aceros inoxidables 40 X 8 Cr 17 41 X 6 CrMo 17 43 X 2 CrNi 19 9 44 X 5 CrNiMo 18 10 45 X 8 CrTi 18 Aceros resistentes al calor 47 X 8 Cr 15 48 X 15 CrNiSi 19 9 Materiales resistentes a altas temperaturas 49 X 21 CrMoV 12 1	aleados con Mn (Si, Ti, Mo) 50 13 Mn 12 51 46 MnSi 4 53 12 MnTi 5 54 20 MnMo 35 Aleados con Ni (Mn, Cr, Mo) 56 14 Ni 6 62 11 NiMn 8 4 65 20 NiCrMo 2 69 33 NiCrMo 14 5 Aleados con Cr (Mo, V) 70 45 Cr 2 72 28 CrMo 4 77 51 CrMoV 4 81 50 CrV 4 Acero de nitruración 85 34 CrAlS 5 Aceros de construcción soldables de alta resistencia 89 TTStE 39 89 WStE 39
Aceros de calidad no aleados 01 St 44-3 02 RSt 38 03 StW 23 04 C 15 05 C 45 06 C 60 07 U 10 S 10	Aceros de herramientas 15 C 80 W 1 17 C 60 W 3 18 C 85 W 5				

Significado:
00, 02, 22 = clase
Número de material completo

Ejemplos: USt 37-2 (1.0036)
RSt 38 (1.0223)
115 CrV 3 (1.2210)

Figura 2-92. Subdivisión de los aceros por clases (extracto de la nueva versión de DIN 17007).

Ámbito de la garantía

La cifra característica para el ámbito de la garantía indica las propiedades del acero que deben ser garantizadas por el fabricante (véase la tabla).
Ejemplos: RSt 37.7; St 33.4; St 37.8; St 44.4

DESIGNACIÓN DE LOS ACEROS MEDIANTE NÚMEROS DE MATERIAL

Grupo principal de material (un dígito). Grupo principal 0 para hierro bruto, grupo principal 1 para acero y acero moldeado.

Número de clase (cuatro dígitos). Los dos primeros números caracterizan la clase, los otros dos la composición química y las propiedades mecánicas..

Números anexos (dos dígitos), sólo para procedimientos especiales de obtención y estados de tratamiento.

Las clases de los grupos principales son:

Aceros básicos y aceros de calidad

00 Aceros básicos
01, 02 Aceros de construcción en general
03...07 Aceros de calidad, no aleados
08, 09 Aceros de calidad, aleados

Aceros finos no aleados

11,12 Aceros de construcción
15...18 Aceros de herramientas

Aceros finos aleados

20...28 Aceros de herramientas
32, 33 Aceros rápidos
34 Aceros resistentes al desgaste
40...45 Aceros inoxidables
47, 48 Aceros resistentes a altas temperaturas
50...84 Aceros de construcción
85 Aceros de nitruración
88 Aleaciones duras

2.6.2 Diferentes clases de acero

ACEROS DE CONSTRUCCIÓN BÁSICOS Y DE CALIDAD

Aceros de construcción son aquellos que no se utilizan para la fabricación de herramientas.

Según DIN 17100, aceros de construcción en general son los aceros básicos y los aceros de calidad no aleados, que por su resistencia a la tracción y su límite de fluencia se emplean en la construcción de edificios, puentes, depósitos, automóviles y maquinaria.

Los aceros de forma y en barra, alambres laminados, productos laminados y piezas de forja fabricados con aceros que cumplen esta norma, se emplean para piezas soldadas, forjadas y roscadas.

Al aumentar el contenido en carbono, aumentan también la resistencia a la tracción, la dureza, la templabilidad y la resistencia al desgaste. Al mismo tiempo disminuyen el alargamiento a la rotura, la

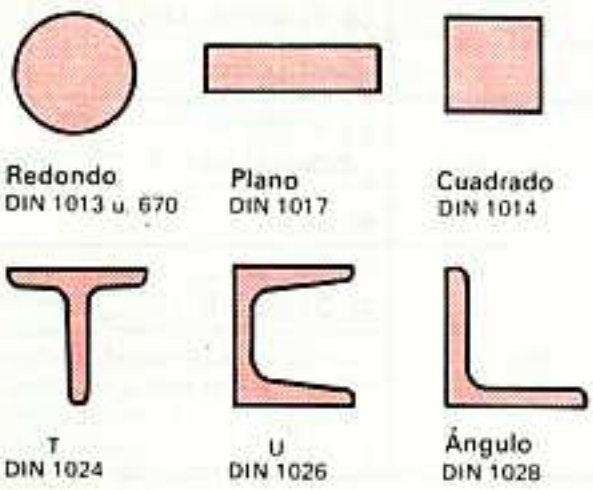


Figura 2-93. Ejemplos de perfiles de acero normalizados.

resiliencia, la conformación en frío, las propiedades de arranque de viruta, la soldabilidad y la forjabilidad.

El límite de fluencia y la resistencia de estos aceros disminuyen con la temperatura, por lo que para temperaturas superiores a 300°C se emplean aceros aleados, los denominados aceros resistentes al calor.

Grupos de calidad

Los grupos de calidad se caracterizan con las cifras -2 y -3 al final del nombre abreviado. El grupo de calidad -1, el acero Thomas, ya no se fabrica.

Los aceros de la calidad 3 se diferencian de los del grupo 2 en que deben satisfacer exigencias más altas en lo que se refiere al comportamiento de rotura por fragilidad.

Ejemplo: St 44-2 y St 44-3.

Para el grupo de calidad 2, el trabajo de resiliencia a 0°C es de 27 J, mientras que para el grupo 3 debe conseguirse lo mismo a −20°C.

Los aceros del grupo de calidad 3 son por tanto más adecuados para soldar.

Las altas exigencias en cuanto a la rotura por fragilidad de los aceros del grupo de calidad 3 condicionan por su parte exigencias especiales en lo que se refiere al tipo de desoxidación, de la composición química y del estado de tratamiento de estos aceros.

Ejemplo: St 44-2.

Tipo de desoxidación R; composición química: 0,050% de P, 0,050% de S, 0,009% de N, estado de tratamiento U.

Ejemplo: St 44-3.

Tipo de desoxidación RR; composición química: 0,040% de P, 0,040% de S, 0,00% de N, estado de tratamiento N.

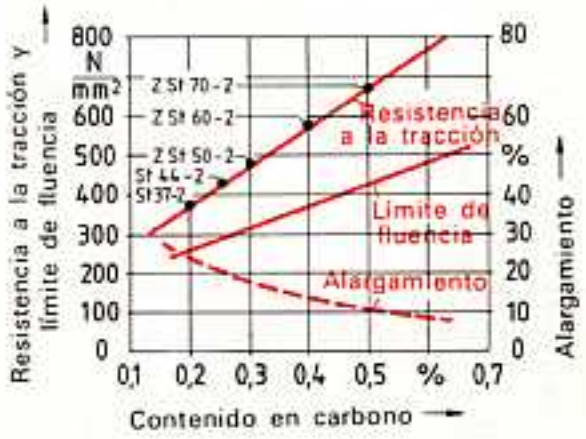


Figura 2-94. Dependencia de las propiedades de resistencia de los aceros no aleados, respecto del contenido de carbono.

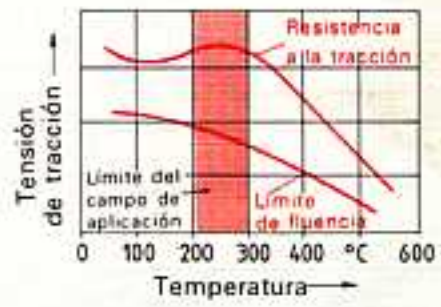


Figura 2-95. Variación de las propiedades de resistencia de un acero no aleado.

Clase de acero Nombre abreviado	Número del material	Tipo de desoxidación	Propiedades mecánicas y tecnológicas Resistencia a la tracción en N/mm² para espesores < 3 mm	Límite de fluencia superior en N/mm² para espesores ≤ 16 mm	Alargamiento de rotura en % Probeta longitudinal, espesores 1 mm. . .1,5 mm
St 33	1.0035	exento	310...540	185	11
USt 37-2	1.0036	U	360...510	235	18
RSt 37-2	1.0038	R			
St 37-3	1.0116	RR			
St 44-2	1.0044	R	430...580	275	15
St 44-3	1.0144	RR			
St 50-2	1.0050	R	490...660	295	13
St 60-2	1.0060	R	590...770	335	9
St 70-2	1.0070	R	690...900	365	5

Figura 2-96. Extracto de DIN 17100 (enero 1980).

ACEROS DE CALIDAD Y ACEROS FINOS

El aumento de la resistencia de los aceros de construcción en general, está motivado por el aumento del contenido de carbono, que a su vez disminuye otras propiedades mecánicas. Con pequeñas cantidades de titanio, teluro y vanadio se consiguen una propiedades me-



Figura 2-97. Mejora de los aceros de construcción.

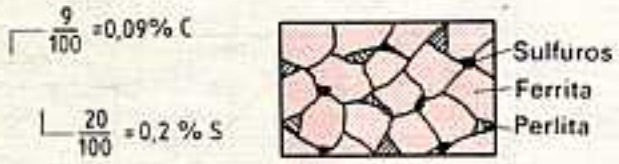


Figura 2-98. Acero para tornos automáticos (DIN 1651).

Nombre abreviado y número de material		Temple °C
Ck 10	(1.1121)	880...920
Cm 15	(1.1140)	880...920
16 MnCr 5	(1.7131)	850...880
20 MoCr 4	(1.7321)	890...920

Figura 2-99. Aceros de cementación, extracto de DIN 17210.



Figura 2-100. Campos de aplicación de los aceros bonificados.

Nombre abreviado Número del material	Aplicación
31 CrMo 12 (1.8515)	Válvulas, sin fines
34 CrAlMo 5 (1.8507)	Cilindros para motores
34 CrAlNi 7 (1.8550)	Cigüeñales, ruedas dentadas

Figura 2-101. Aceros de nitruración, extracto de DIN 17211.

cánicas mejores, así como por endurecimiento, por tratamiento termomecánico y por la eliminación de influencias no metálicas. Los aceros de construcción pueden ser aleados y no aleados.

Aceros para tornos automáticos

Los aceros para tornos automáticos son aceros de calidad no aleados o de baja aleación. Se utilizan para la fabricación de piezas con tornos automáticos y deben desprender viruta corta (clase 07).

Fundamentalmente mediante un mayor contenido de azufre (hasta 0,2%), se consigue una buena mecanizabilidad. Las influencias de la sulfuración son causa de la rotura de la viruta. La adición de plomo mejora la calidad superficial.

Ejemplos: 10 S 20; 11 SMn 28; 11 SMnPb 28.

Aceros de cementación

Los aceros de cementación se carburan en la capa externa después de darles forma.

Los aceros de cementación son aceros de construcción con un contenido de carbono entre 0,1 y 0,2%. Se carburan en la capa externa y a continuación se templan (ver cementación). El acero obtiene de esta forma una dureza y resistencia al desgaste altas en la capa externa, mientras que el material del núcleo presenta una gran tenacidad.

Se trata de aceros de calidad no aleados y de aceros finos o aceros finos aleados.

Ejemplos: C 10; Ck 10; 16 MnCr 5.

Aceros bonificados

Los aceros de construcción no aleados y aleados empleados en estado bonificado se llaman aceros bonificados.

Con el bonificado (véase pág. 288) se consigue un aumento de la tenacidad y de la deformación elástica para una resistencia dada. Los aceros de calidad no aleados y los aceros finos poseen un contenido de carbono de 0,2 a 0,6%. Sólo se puede bonificar una capa superficial delgada.

Si hay que aplicar un bonificado penetrante a piezas grandes, se necesitan aceros bonificables aleados.

Aceros de nitruración

Los aceros de nitruración son especialmente apropiados para nitrurar, debido a los formadores de nitruros que contienen.

Mediante la nitruración el acero obtiene una superficie dura, así como resistencia al desgaste y a la corrosión. Los aceros adecuados para la nitruración se llaman aceros de nitruración (véase página 290).

ACEROS INOXIDABLES

Los aceros inoxidables poseen un contenido de cromo del 12% como mínimo.

De esta forma se designan una serie de aceros de alta aleación, que se caracterizan por su estabilidad frente a las substancias que atacan químicamente (agua, aire, gases ácidos y lejías).

Nombre abreviado y número del material		Aplicaciones
X 7 CrAl 13	(1.4002)	Bombas
X 40 Cr 13	(1.4034)	Aparatos domésticos
X 5 CrNi 18 9	(1.4301)	Aparatos médicos
X 10 CrNiTi 18 9	(1.4541)	y químicos
		Construcción

Figura 2-102. Extracto de DIN 17440.

ACEROS PARA HERRAMIENTAS

Los aceros para herramientas se emplean para procesos de fabricación de corte y conformación.

Los aceros no aleados para herramientas (aceros al carbono), clases 15 a 18, son aceros finos con un contenido en carbono del 0,5 al 1,5% de C. Se templan entre 750 y 850°C y se revienen entre 200 a 300°C. La temperatura de trabajo no debe sobrepasar los 200°C. Cuanto más alto sea el contenido de C, tanto más alta es la dureza. Después de templados, los aceros poseen una capa superficial dura, y un núcleo tenaz no templado. Las distintas clases de calidad (W1, W2, W3, WS) se diferencian principalmente en el espesor de la capa dura una vez templado (profundidad de penetración de la dureza).

Los aceros aleados para herramientas, clases 20 a 28, tienen como componentes cromo, manganeso, silicio, molibdeno, vanadio y tungsteno.

Los aceros para trabajos en frío poseen, a una temperatura de trabajo de 200°C, una dureza, tenacidad, consistencia de corte y resistencia al impacto mayores que los aceros no aleados para herramientas.

Los aceros para trabajos en caliente son aceros para una temperatura permanente de 200°C. Propiedades importantes son la resistencia mecánica, la resistencia al desgaste y la tenacidad, todas a alta temperatura.

Los aceros rápidos son aceros de alta aleación para herramientas, clases 32 y 33. Mediante un enlace químico del carbono y el hierro con los elementos aleados, se forman carburos de acero rápido, p. ej. el Fe_4WCr, los cuales son duros y resistentes al desgaste y a las altas temperaturas. La secuencia de los componentes es siempre la misma: W-Mo-V-Co (porcentajes aproximados).

Ejemplos de aplicaciones:

S 3-3-2, acero para hojas de sierra para metales; S 6-5-2, acero para brocas helicoidales, fresas y herramientas de conformar; S 18-1-5, acero para cuchillas de torno y de cepilladoras.

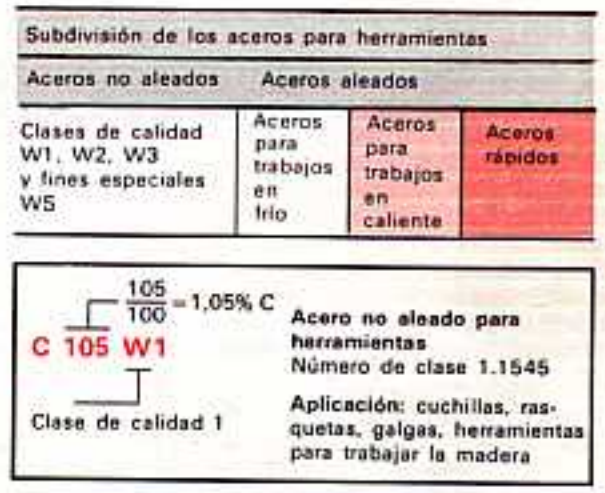


Figura 2-103. Aceros no aleados y aleados para herramientas.

DESIGNACIONES PARA BANDAS Y CHAPAS

Se trata de aceros dulces de calidad no aleados con un pequeño porcentaje de carbono. Se emplean para trabajos de conformado. Para recubrimientos, las chapas deben poseer un tipo de superficie y una ejecución de la misma, garantizados. (Norma sobre formas de aceros, véase tabla en la página 77).

Para chapas y bandas se emplean los números de material 2 a 14 para las distintas clases.

Tipo de superficie	
O2	se admiten colores de revenido y cascarilla suelta
O3	Se admiten poros, pequeñas grietas y arañazos ligeros
O4	superficie mejorada
O5	sin defectos
Ejecución de la superficie	
g	liso uniforme (pulido)
m	mate uniforme
r	con mayor rugosidad

Figura 2-104. Tipo de superficie y ejecución superficial.

Ejemplo:

St 1203 m, número de material 1.033003 m. Se trata de la designación de la clase St 12 con un máximo de 0,1% de C, una superficie (03) laminada en frío, en ejecución mate (m).

2.6.3 Formas comerciales de los aceros

NORMALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS PLANOS DE ACERO

Por productos planos se entienden las bandas y chapas laminadas en frío, según DIN 1623, de espesor inferior a 3 mm, fabricadas con aceros dulces no aleados.

Por **banda** se entiende un producto plano que inmediatamente desde la laminación se enrolla directamente. Tiene cantos ligeramente bombeados, pero puede suministrarse también con los cantos recortados.

Por **chapa** se entiende un producto plano que se suministra generalmente en planchas planas de forma cuadrada o rectangular. Sus cantos están en estado bruto o recortados.

Según su empleo se subdividen en:

Por el material: de acero, de cobre y de aluminio.

Por el espesor: gruesa (más de 4,75 mm), fina (hasta 3 mm).

Por el acabado superficial: galvanizada, chapeada, esmaltada, cincada al fuego, cromada, recubierta.

Por el perfil: bombeada, acanalada, para bidones, con relieve romboidal, con tetones y ondulada.

Por su aplicación: de calderas, de revestimiento, de barcos, magnética, etc.

Designaciones

Para las cotas, así como para las desviaciones de las mismas y de la forma, son válidos los datos de DIN 1541, y para las propiedades garantizadas del material, la norma DIN 1623. Para designar totalmente una chapa hay que indicar, p. ej.: 1) designación de la chapa; 2) espesor en mm y letra característica F si se desea una buena aproximación del espesor; 3) anchura en mm y letra característica para el acabado de los bordes (NK = bordes cortados antes del laminado en frío; GK = bordes cortados después del laminado en frío); 4) longitud en mm y letra característica F si se desea una buena aproximación de la longitud, y letra S si se desea una buena aproximación de la planicidad de la chapa; 5) nombre abreviado de la clase de acero y símbolo de acabado superficial.

Ejemplo:

Chapa DIN 1541 – St 1203 m – 1,20 F × 1500 GKF × 3000 S
(1) (2) (3) (4) (5)

Significado:

(1) Designación de la chapa laminada en frío, dimensiones según DIN 1541.
(2) Acero St 12 con una resistencia a la tracción de 270 a 410 N/mm², dureza 65 HRB (según tabla DIN 1623). La superficie es laminada en frío (03), con pequeñas grietas, arañazos y nervaduras suaves. La ejecución superficial (m) es uniforme mate (DIN 1623).

(3) Espesor 1,20 con una aproximación (F) de ±0,08 mm (según tabla DIN 1541).
(4) Anchura de 1 500 mm con bordes cortados (GK) después del laminado en frío y buena aproximación (F) de la anchura, de 3 mm.
(5) Longitud de 3 000 mm y buena aproximación (S) de la planicidad, de 10 mm. Desviación normal de la longitud (no se ha indicado F), de 9 mm.

Los productos siderúrgicos están normalizados según la forma.

Los **aceros en barra** se suministran en forma de redondos, planos y cuadradillos, es estado laminado en caliente, forjado o pulido.

Los **perfiles de acero** se suministran en forma de ángulo, acero en U, acero en T, acero en Z y en doble T, en diferentes medidas.

Acero en barra y productos planos, ejemplos

Nombre abreviado	Significado	Dimensiones normalizadas
L DIN 1028 – 80 × 10	Ángulo de alas iguales y cantos redondeados, con 80 mm de ancho de alas y 10 mm de espesor	L 20 × 3 ... 200 × 24
L DIN 1029 – 100 × 50 × 10	Ángulo de alas desiguales y cantos redondeados, con 100 y 50 mm de ancho de alas y 10 mm de espesor	L 30 × 20 × 3 ... 250 × 90 × 16
L DIN 1022 – S 24 × 4	Ángulo de alas iguales y cantos vivos, con 24 mm de ancho de alas y 4 mm de espesor	
T DIN 1024 – 80	Acero en T de 80 mm de altura y cantos redondeados	T 20 ... T 140
TB DIN 1024 – 50	Acero en T de pie ancho, de 50 mm de altura, 100 mm de ancho de pie y cantos redondeados	TB 30 ... TB60
I DIN 1025 – 240	Viga en I de pie ancho, con superficies para bridas, con inclinación hacia el interior, de 240 mm de altura.	I 80 ... I 600
IB DIN 1025 – 120	Viga en I de ala ancha con superficies para bridas, con inclinación hacia el interior, de 120 mm de altura	IB 100 ... IB 180
IPB DIN 1025 – 220	Viga en I de ala ancha con superficies para bridas paralelas, de 220 mm de altura	IPB 100 ... IPB 1 000
IPE DIN 1025 – 360	Viga en I con superficies para bridas paralelas según la EURO-NORM internacional 19	IPE 80 ... IPE 600
□ DIN 1017 – 40 × 12	Acero plano de 40 mm de anchura y 12 mm de espesor	□ 10 × 5 ... □ 150 × 60
▭ DIN 59200 – 200 × 10	Acero plano ancho, de 200 mm y 10 mm de espesor	▭ 150 × 5 ... ▭ 250 × 60
Bd DIN 1016 – 70 × 2	Banda de 70 mm de ancho y 10 mm de espesor	Bd 10 × 1 ... Bd 150 × 5
4kt DIN 1013 – 20	Redondo, laminado, de 20 mm de diámetro	⌀ 8 ... ⌀ 200
4kt DIN 1014 – 30	Cuadradillo, laminado, de 20 mm de diámetro	□ 5 ... □ 150
Z DIN 1027 – 100	Acero Z de 100 mm de altura	Z 30 ... Z 200
U DIN 1026 – 200	Acero U de 200 mm de altura	U 30 ... U 400

2.6.4 Materiales fundidos/metales no férreos

DESIGNACIÓN DE LOS METALES COLABLES

El nombre abreviado empieza con el símbolo de la fundición y un guión, el resto de la designación corresponde a la del acero.

Símbolos de la fundición

GS- = Acero moldeado
GG- = Hierro fundido con grafito laminar (fundición gris)
GGG- = Hierro fundido con grafito esferoidal (fundición nodular)
GT- = Fundición maleable
GTS- = Fundición maleable recocida no descarburada («negra»)
GTW- = Fundición maleable recocida descarburada («blanca»)

Hierro fundido con grafito laminar (fundición gris)

Se trata de un material de hierro y carbono, cuyo contenido de carbono tiene preferentemente la forma de grafito laminar (véase página 53).

Ejemplo según DIN 1691 GG-20 — Resistencia a la tracción 200 N/mm²

Hierro fundido con grafito esferoidal (fundición nodular)

Se trata de un material de hierro y carbono con contenido de grafito esferoidal (véase pág. 53).

Ejemplo según DIN 1693 GGG-40 — Resistencia a la tracción 400 N/mm²

Fundición maleable

Se trata de un material de hierro y carbono con propiedades similares a las del acero, en el que el carbono está combinado formando carburo de hierro (cementita).

Ejemplo según DIN 1692 GTW-40-05
Resistencia a la tracción, min. 400 N/mm²
Alargamiento de rotura, min. 5%

Acero moldeado

Se trata de un acero colado no aleado o aleado.

Ejemplo: Acero moldeado para aplicaciones generales según DIN 1681.

GS-45 — Acero moldeado con una resistencia a la tracción de 450 N/mm²

Ejemplo: Acero moldeado resistente al calor, según DIN 17245

GS-22 Mo 4 — Porcentaje medio de carbono, 0,22%, resistente hasta 550°C

Ejemplo: Acero moldeado inoxidable según DIN 17445

G-X 12 Cr 14 — Porcentaje de carbono 0,12%, porcentaje de cromo 14%, resistencia a la tracción 700 N/mm²

Designación del hierro fundido mediante el número de material

Ejemplo: Hierro fundido GG-2, número de material 0,6020

Significado: 0. 60 20
Grupo principal 0 = Hierro fundido
Clase 60 = Hierro fundido con grafito laminar, no aleado
Número de orden, establecido para el GG-20 según DIN 1691

DESIGNACIÓN DE LOS METALES NO FÉRREOS

La base de la normalización de los materiales son las hojas de la norma DIN 1700. La normalización de los metales no férreos se subdivide en tres partes: el nombre abreviado de la composición (parte principal), las letras características de la fabricación y aplicación, y el estado de tratamiento y propiedades especiales.

Composición de los metales no férreos y aleaciones no férreas

Como nombre abreviado se escriben los símbolos químicos de los elementos. En las aleaciones, el primer lugar lo ocupa el metal con el mayor porcentaje, seguido de los símbolos de los elementos de aleación por orden de porcentaje. Los porcentajes pueden faltar entre los datos.
Ejemplo: ZnAl 14 Cu 3

Fabricación y aplicaciones

Las letras características preceden a la composición, uniéndose ambas partes con un guión. Significado:

G- = fundido (en general)	V- = aleación de corte previo y de acabado
GD- = fundición a presión	U- = aleación de refusión
GK- = fundición en coquilla	GI- = metal antifricción (metal para cojinetes)
GZ- = fundición centrifugada	L- = soldadura blanda

Ejemeplo: G-ZnAl 14 Cu 3

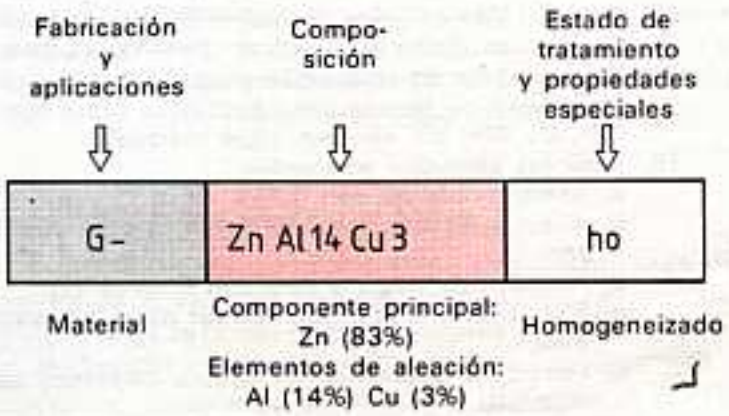
Estado de tratamiento y propiedades especiales

Las letras características del estado de tratamiento se colocan a continuación de la composición (la parte principal). Significado:

a = endurecido	zh = estirado
ho = homogeneizado	p = prensado
wa = templado en caliente	wh = laminado

Como símbolo de las propiedades especiales se indica, por ejemplo, la resistencia a la tracción. Se pone la letra F detrás de la composición.

Ejemplos: G-ZnAl 14 Cu 3 ho ó AlMg 3 F 17



Ejercicios

Normalización de los materiales férreos

Designaciones del acero

1. Subdividir las clases de acero según los componentes aleados y las propiedades de utilización.
2. Según la norma retirada 17006, la designación del acero comprende la parte de fabricación, la parte de composición y la parte de tratamiento. ¿Qué dicen estas partes?
3. Citar los límites del acero no aleado respecto al acero aleado.
4. Citar los elementos de aleación importantes.
5. Indicar para el acero St 44 la resistencia a la tracción en N/mm^2.
6. Decodificar las designaciones de los siguientes aceros de calidad y finos: St 37; St 52; C 60; Ck 60.
7. Diferenciar las propiedades de los siguientes aceros: WStE 29; TTStE 29; ZStE 30.
8. ¿Qué diferencia hay entre los aceros USt 37.7 y RSt 37.7?
9. ¿En qué se caracterizan en sus designaciones, los aceros no aleados, los de baja y los de alta aleación?
10. Escribir de los siguientes nombres abreviados, los aceros no aleados: Ck 45; 34 CrNiMo 6; C 60; 20 S 20.
11. Indicar la influencia del carbono en la resistencia y alargamiento de un acero no aleado.
12. Decodificar las designaciones: PSt 50-2; ZSt 60-2; WStE 32; QSt 44-3; RQSt 44-2; UZSt 44-2.
13. ¿Qué diferencia existe entre las simbolizaciones St 44-2 y St 44-3?
14. Designar los aceros de la tabla de la página 71 que poseen la clase: 00; 02; 17; 22; 33; 44; 54.
15. Un acero fino de construcción no aleado tiene que ser utilizable para recalcado en frío. Dar la designación de uno.
16. Designar un acero especialmente apropiado para soldar.

Diferentes clases de acero

17. Indicar qué aceros caracterizan un acero de cementación: C 60; C 10; St 70-2; 34 CrNiMo 6; 11 MnSi 4.
18. ¿Por qué medios se activa en los aceros para tornos automáticos la rotura de la viruta?
19. ¿De qué forma se consigue un aumento de la resistencia en los «aceros de construcción en general»?
20. Comparar, según DIN 17100 (véase la página 72), la resistencia a la tracción, el límite de fluencia y el alargamiento de rotura de los siguientes aceros: número de material 1.0036 y 1.0144.
21. Explicar los nombres abreviados 55 Cr 3 y 42 CrMo 4.
22. Comparar entre sí los aceros X 5 CrNiMo 1813 y X 5 CrNiMo 1111.
23. Determinar la suma de los componentes de aleación para 20 MnMo 3 5 y X 12 CrNi 25 4.
24. Asignar a los aceros con número de material 1.7225; 1.2419; 1.0727 y 1.4576 las clases correspondientes.
25. ¿De acuerdo con qué criterios se subdividen los aceros para herramientas?
26. Decodificar las siguientes designaciones de aceros para
26. Ordenar los aceros C 80 Wl; C 60 W 3; 85 Cr 1; X 32 CrMoV 33; S7-4-2-5 en el esquema de los aceros para herramientas.
27. Decodificar las designaciones siguientes de aceros para herramientas: 105 Cr 4; X 40 CrMoV 51; 21 CrMo 10; S 18-1-2-5.
28. Indicar la diferencia entre las chapas: St 14 03 m y St 12 05 g.
29. Escribir los nombres abreviados de los materiales exigidos por las siguientes piezas:
    a) barra de unión, clase 01, resistencia a la tracción 600 N/mm^2
    b) engranaje, clase 85, con Cr, Al y Ni aleados.
    c) forjados en estampa, límite de fluencia 340 N/mm^2, clase 01.
30. ¿Qué porcentaje de hierro contiene aproximadamente el acero inoxidable X 2 CrMo 19 9?
31. Un acero aleado contiene 0,48% de C, 1,25% de Cr y 0,1% de Mo. Determinar la cifra característica del carbono y los multiplicadores. Escribir el nombre abreviado.

Formas comerciales de los aceros

32. Explicar los siguientes símbolos
    a) L 80 × 40 × 10;
    b) U 200 × 800;
    c) TB 50
    d) 100 × 200;
    e) T 50 × 50;
    f) L 50 × 8 × 100 Lg;
33. Dar los nombres abreviados de los siguientes perfiles:
    a) Acero en U de 50 mm de altura.
    b) Cuadradillo de 40 mm de ancho.
    c) Ángulo de alas iguales y cantos agudos, de 45 mm de ancho y 5 mm de espesor.
    d) Ángulo de alas desiguales y cantos redondeados, de 150 y 100 mm de ancho de alas y 14 mm de espesor.
    e) Viga de pletina (perfil en I) con caras paralelas de 300 mm de altura.
    f) Acero plano ancho, de 250 mm de anchura y 20 mm de espesor.
    g) Redondo de 8 mm de diámetro.

Materiales fundidos y metales no férreos

34. Entre los materiales fundidos se distingue por ejemplo: hierro fundido, fundición maleable; acero moldeado, fundición aleada de cobre; fundición aleada de Al y fundición aleada de cinc. Asignar a estas aleaciones las designaciones abreviadas correctas: GG-30; GTS-35; G-CuSn 12; GD-ZnAl 14; Al 99; 9 Mg 0,5; GGG-50; GS-45; GS-C 25.
35. Explicar la composición y propiedades de GS-22 Mo 4 y G-X 10 CrNi 188. ¿Qué diferencia a la GG-30 de la GGG-38?
36. Describir las siguientes aleaciones e indicar la composición en % de masa: CuZn 40, CuSn 6, CuAl 18, CuZn 40 Pb.
37. Para la fabriación, aplicación y estado de tratamiento de las aleaciones no férreas son válidos los siguientes símbolos: GZ-, L-, GD-, zh, wh, wa. ¿Qué indican?
38. Elejir los símbolos adecuados:
    a) Acero moldeado con 0,25% de C.
    b) Acero moldeado con 0,22% de C, 1,25% de Cr y 0,4% de Mo.
    c) Aleación de cobre y cinc con 60% de Cu.
    d) Fundición gris con 300 N/mm^2 de resistencia a la tracción.
    e) Fundición a presión de cinc y aluminio, con 4% de aluminio.

2.7 Corrosión de los materiales meta

2.7.1 Causas de la corrosión

INFLUENCIAS QUÍMICAS SOBRE LOS METALES

Corrosión es la reacción química, electroquímica o tam-bién fisicometálica de un material metálico con su entor-no, la cual conduce a una variación de sus propiedades.

Por regla general los materiales son influidos por la atmósfera. En el aire se encuentran oxígeno, vapor de agua, humos, compuestos con azufre y fósforo, gases de la combustión tales como dióxido de carbono o dióxido de azufre, ácidos diluidos tales como el ácido carbónico, ácido sulfúrico y ácido nítrico. La mayor parte de los metales están combinados con el oxígeno, el agua, el azufre, el fósforo o el carbono, en forma de minerales. Una vez que siderúrgicamente se han deshecho estas combinaciones con gran consumo de energía, los metales tienden a volver al estado de partida. Esta es la causa de la destrucción (corrosión) que aparece en muchos metales.

Un metal es tanto más noble cuanto menos sea descompuesto por la corrosión.

Comportamiento de los metales frente al oxígeno y el agua.

Ensayo: Se sostienen en la llama tiras metálicas pulidas de hierro (Fe), cobre (Cu) y cinc (Zn), con lo que pierden su brillo metálico y se recubren de una capa de óxido. Las capas de óxido forman una espesa capa protectora y evitan que continúe la oxidación hacia el interior.

El cobre forma óxido de cobre: $2\,Cu + O_2 \rightarrow 2\,CuO$
El hierro forma óxido de hierro: $2\,Fe + O_2 \rightarrow 2\,FeO$
Si se recuece hierro al aire, se forma cascarilla (Fe_3O_4, exactamente $Fe\,O.\,Fe_2O_3$)
El cinc forma óxido de cinc: $2\,Zn + O_2 \rightarrow 2\,ZnO$
El plomo forma óxido de plomo: $2\,Pb + O_2 \rightarrow 2\,PbO$
El aluminio forma óxido de aluminio: $4\,Al + 3\,O_2 \rightarrow 2\,Al_2O_3$
El magnesio forma óxido de magnesio: $2\,Mg + O_2 \rightarrow 2\,MgO$

Formación de óxido. El óxido se forma por contacto del hierro y sus combinaciones con el oxígeno del aire y el agua, y tanto más deprisa cuanto más ácido contenga el agua. La resistencia a la oxidación es tanto mejor cuanto más bajo sea el contenido en carbono del acero.

Ensayos: Las superficies de dos piezas una de fundición gris y otra de acero, se desengrasan y se pulen con tela de esmeril. Ambas piezas se mojan en varios puntos con agua pura y con agua que contenga ácido o sal.

Observaciones: Aparecen manchas de óxido, más pronto y más intensas en la fundición gris y en los puntos rociados con ácido.

Las pequeñas partículas de hierro de la superficie de la pieza reaccionan con el agua y se combinan con el oxígeno formando óxidos. Aparece un óxido marrón poroso que posteriormente se levanta en forma de plaquetas. De esta forma el oxígeno y el agua

Figu.



Figura 2-106. El hierro se combina con el oxígeno formando FeO.
Mediante un fuerte calentamiento se forman varias capas de óxido superpuestas (Fe_3O_4 = óxido de hierro (II-III) y Fe_2O_3 = óxido de hierro (III)).

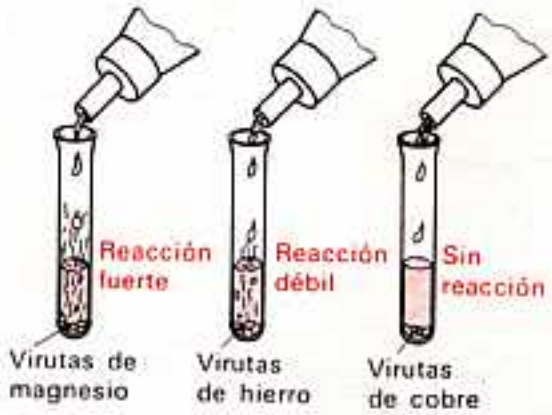


Figura 2-107. Acción del ácido clorhídrico sobre los metales.

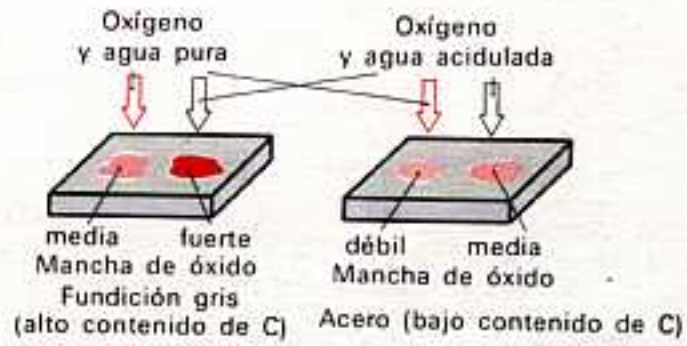


Figura 2-108. El acero es más resistente a la oxidación que la fundición gris.

82

penetrando hacia el interior y entrar en contacto con de hierro más profundas.

$$4\,Fe + 6\,H_2O + O_2 \rightarrow 2\,(Fe_2O_3 \cdot H_2O) + 4\,H_2$$

stente a los agentes atmosféricos se oxida al principio de forma. La capa de óxido es, sin embargo, tan densa, que al material base de la corrosión.

portamiento de los metales frente a las lejías

uchos óxidos metálicos se combinan con el agua formando bases (hidróxidos), sus soluciones acuosas se llaman «lejías». Lejías conocidas son: el hidróxido sódico, el amoníaco líquido y la lejía de potasa. Se utilizan para limpiar piezas sucias o útiles de trabajo, así como grabar (corroer), por ejemplo, el aluminio.

Para comprobar la presencia de lejías se emplea papel de tornasol rojo, que vira a **azul**.

Las lejías poseen acción mordiente. Las substancias animales y vegetales, los colorantes y lacas son destruidos fácilmente. Se elimina la suciedad. Los me ales también son atacados por las lejías.

Ensayo: En una copa de cristal con hidróxido sódico al 25% se sumerge un trapo de lana sucio y una chapa de aluminio.

Observación: La lana se hinca y la suciedad se disuelve. La chapa de aluminio es atacada considerablemente.

Resumen: Las lejías se forman con los óxidos de metales no nobles, p. ej., el hidróxido sódico (NaOH), la lejía de potasa (KOH), el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) (cal apagada), pero la solución de amoníaco (NH_4OH) también es una lejía.

Comportamiento de los metales frente a los ácidos

Ácidos inorgánicos importantes son el ácido clorhídrico (HCl), el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el ácido nítrico (HNO_3) y el ácido carbónico (H_2CO_3). Propiedades comunes de los ácidos son: a) tienen sabor ácido; b) atacan la piel, decapan y destruyen el tejido celular; c) atacan a los metales no nobles; d) destruyen y blanquean los colorantes; e) eliminan las capas de óxido de los metales.

Los ácidos se forman por regla general de la reacción de los óxidos no metálicos con el agua.

Ensayo: Si en una probeta con pie se quema azufre, se forma dióxido de azufre ($S + O_2 \rightarrow SO_2$). El dióxido de azufre se combina con el agua y da ácido sulfuroso ($SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$).

Los ácidos se reconocen mediante indicadores. El papel indicador más conocido contiene tornasol.

El papel de tornasol **azul** vira a **rojo** con los ácidos.

Ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico es uno de los ácidos más fuertes. Químicamente se compone de hidrógeno (H) y cloro (Cl). El HCl se llama cloruro de hidrógeno y es un gas de olor penetrante que, disuelto en agua, da ácido clorhídrico. El ácido clorhídrico disuelve la mayoría de los metales no nobles, así como sus óxidos.

Ensayo: El ácido clorhídrico disuelve los óxidos metálicos.

Se frota con un trapo impregnado de ácido clorhídrico al 5% una chapa de cinc, acero o cobre oxidada.

Observación: Los metales se ponen brillantes; los óxidos metálicos se han

combinado con el ácido clorhídrico formando cloruros ($ZnO + 2HCl \rightarrow Zn\,Cl_2 + H_2O$).

Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un líquido oleoso. Concentrado, el llamado ácido sulfúrico fumante contiene solamente un 1,5% de agua. La composición química es hidrógeno, azufre y oxígeno (H_2SO_4). Ataca fuertemente y actúa sobre las substancias orgánicas carbonizándolas. El ácido sulfúrico diluido se utiliza para eliminar las capas de óxido.

Ejemplo: El óxido de cobre se transforma químicamente en sulfato de cobre, debido al ataque del ácido sulfúrico.

($CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$). Las sales del ácido sulfúrico se llaman sulfatos.

Ensayo: El ácido sulfúrico destruye las substancias orgánicas. Si se echan unas gotas de ácido sulfúrico concentrado sobre un terrón de azúcar o sobre un pliego de papel, al cabo de unos minutos aparecen puntos negros (carbono).

Con el agua se mezcla el ácido sulfúrico altamente concentrado calentándose fuertemente.

Ensayo: En una ampolla tubular llena a medias de agua, se vierte lentamente, gota a gota, ácido sulfúrico concentrado, controlando la temperatura.

Observación: En el termómetro se comprueba un fuerte aumento de la temperatura. Si se manipula incorrectamente, el ácido puede salpicar, produciendo graves heridas en la piel.

Para diluir ácido sulfúrico echar siempre el ácido en el agua, nunca el agua en el ácido.

Ácido carbónico

En la combustión de los compuestos de carbono (madera, papel, carburantes) se forma dióxido de carbono (CO_2). El aire respirado por los hombres y los animales contiene un 4%, los gases de escape producidos en las máquinas motrices de combustión interna, del 6 al 12% de dióxido de carbono. Con el agua se combina el dióxido de carbono formando pequeñas cantidades de ácido carbónico ($CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$). El aire húmedo y el agua contienen siempre ácido carbónico, por lo que atacan a los metales. Las sales de los metales y ácido carbónico se llaman carbonatos. Así, p. ej., el plomo y el ácido carbónico forman una capa de carbonato de plomo difícilmente soluble que, al contrario que el plomo puro, no es soluble en agua.

El hierro se combina con el ácido carbónico formando carbonato de hierro ($FeCO_3$), y el cobre forma carbonato de cobre básico ($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$), una capa protectora impermeable de color verdoso (pátina).

Manipulación de los ácidos y lejías

Los ácidos y las lejías atacan la piel, tanto más cuanto más alta sea su concentración. Los vapores de ácido clorhídrico respirados destruyen las mucosas de la boca, nariz, pulmones y estómago. En caso de contacto accidental lavarse inmediatamente los ojos y la piel con abua abundante, durante 15 minutos por lo menos. A continuación, cubrir con venda esterilizada.

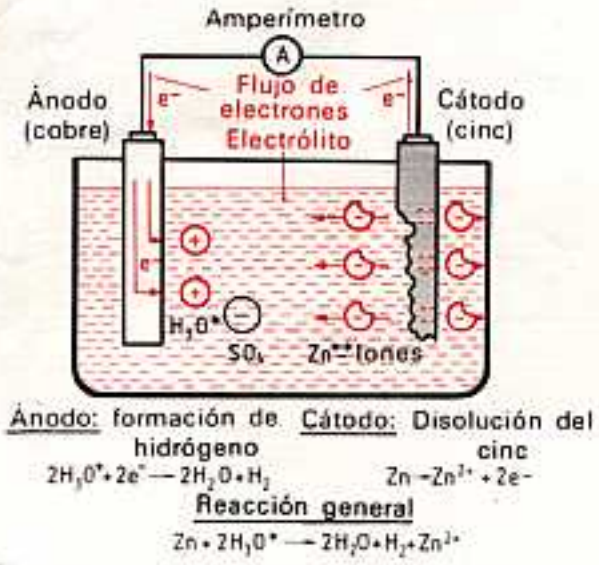


Figura 2-110. Elemento galvánico.

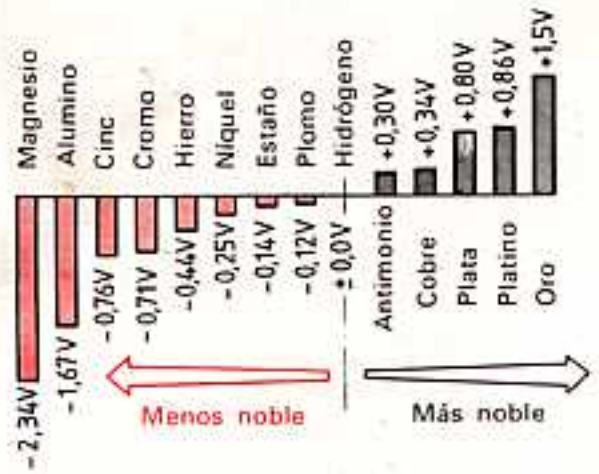


Figura 2-111. Serie electroquímica de tensiones de los metales respecto al electrodo de hidrógeno como potencial nulo.

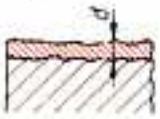


Figura 2-112. Corrosión plana.



Figura 2-113. Corrosión en forma de picadura.



Figura 2-114. Corrosión en forma de grieta.

Al manipular ácidos y lejías usar guantes y gafas protectoras. Las botellas de ácido y lejía deben estar claramente rotuladas.

2.7.2 Clases de corrosión

INFLUENCIAS ELECTROQUÍMICAS SOBRE LOS METALES

Si se unen dos substancias metálicas diferentes mediante un electrólito, se produce la descomposición electrolítica por formación de elementos galvánicos. Son electrólitos el aire húmedo y el agua acidulada o salina.

Ensayo: Si se vierte ácido sulfúrico (H_2SO_4) en agua, se forman iones positivos de hidrógeno y iones residuales eléctricamente negativos. Ambos iones forman con el agua el electrólito.

Ensayo: Una placa de cinc sumergida en ácido sulfúrico diluido se descompone por sus caras. Aparecen iones positivos de cinc en la solución. Los electrones negativos permanecen en el cinc.

El mismo comportamiento que el cinc presentan otros metales tales como el magnesio, el aluminio, el hierro y el plomo.

Ensayo: En una solución de ácido sulfúrico, el cobre no presenta ningún signo de descomposición.

La plata, el platino y el oro muestran el mismo comportamiento que el cobre.

Explicación: En un electrólito cada metal tiene una tensión de disolución que impulsa a emitir iones metálicos. Los metales con una gran tensión de disolución se dice que son electroquímicamente no nobles (hierro, cinc, aluminio y magnesio). Los metales con tensión de disolución pequeña se dice que son electroquímicamente nobles (cobre, platino y oro).

Elemento galvánico

Ensayo: Se sumerge en ácido sulfúrico diluido una plaquita de cobre y otra de cinc. Si se unen los metales con un conductor externo a la solución, pasa por él una corriente eléctrica.

Esta disposición forma una fuente de tensión (un elemento galvánico). El cinc es menos noble que el cobre y se descompone.

Los iones cinc pasan a la solución, dejando por cada átomo dos electrones en la placa de cinc (polo negativo). Los electrones se mueven a través del conductor hacia la placa de cobre. Estos electrones se combinan con los iones hidrógeno del ácido retenidos, formando hidrógeno, que se desprende.

El metal noble forma el polo positivo (ánodo), y el no noble, el polo negativo (cátodo).

Clases de corrosión sin solicitaciones mecánicas

En la corrosión plana uniforme (figura 2-112) se produce una erosión casi uniforme sobre toda la superficie, p. ej., óxido.

La corrosión en forma de picadura (figura 2-113) se produce sólo en puntos de la superficie.

La corrosión en forma de fisura, en los casos de humedad (figura 2-114), es debida a la diferente concentración del oxígeno en el agua.

La **corrosión de contacto** (figura 2-115) se presenta cuando se unen dos metales consecutivos en la serie de tensiones por medio de un electrólito. El resultado es la destrucción del metal menos noble.

La **corrosión intercristalina** (figura 2-116) se presenta a lo largo de los límites de los granos y tiene como consecuencia la reducción de la resistencia.

La **corrosión transcristalina** (figura 2-117) se produce generalmente en el caso de una gran carga de tracción, y transcurre paralelamente a la dirección de deformación dentro del grano.

Clases de corrosión con solicitación mecánica

La **corrosión con grietas por tensión** se produce por la tracción y por la acción de medios corrosivos. La formación de grietas tiene lugar de forma intercristalina o transcristalina. **La corrosión con grietas por vibración** es un tipo de corrosión por fatiga producida por una solicitación alternada.

2.7.3 Protección contra la corrosión

RECUBRIMIENTOS NO METÁLICOS

Por protección anticorrosión se entiende la separación del material metálico respecto del medio atacante, mediante la aplicación de capas de recubrimiento o revestimientos que eviten la corrosión o que la reduzcan suficientemente.

El **aceitado y el engrasado** se emplean en los casos en los que las piezas deban ser brillantes (pie de rey). La grasa y el aceite no deben contener ácidos.

Pintar a brocha o a pistola. El minio de plomo forma una capa protectora impenetrable de pintura de imprimación, sobre la que se aplica la conveniente (óleo, barniz, etc.) de acuerdo con su aplicación.

El **esmaltado** se hace mediante espolvoreo o aplicación con pistola de polvo de esmaltes y cocción posterior a 800 ó 1 000°C. El recubrimiento es resistente a los agentes químicos y al calor. La masa de esmaltar se compone de polvo de vidrio, que es una mezcla de cuarzo, feldespato, arcilla y colorantes.

Los **recubrimientos plásticos** se obtienen por inmersión en plástico líquido o bien por lacado. Las pinturas al aceite corrientes están siendo desplazadas cada día más por lacas de resina sintética, celulósica y al clorocaucho. Por otra parte, existen lacas al horno que secan a 120 ó 150°C y que proporcionan una buena protección contra la corrosión.

RECUBRIMIENTOS METÁLICOS

Baño metálico. Una pieza limpia se sumerge en un baño metálico,

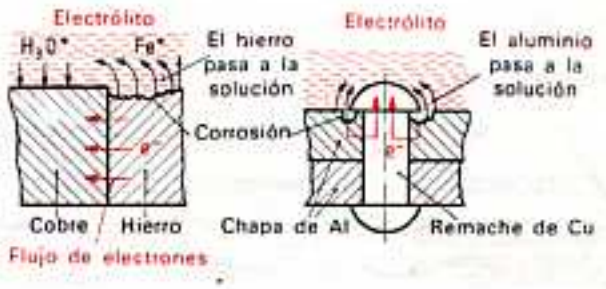


Figura 2-115. Corrosión de contacto.



Figura 2-116. Corrosión intercristalina.



Figura 2-117. Corrosión transcristalina.

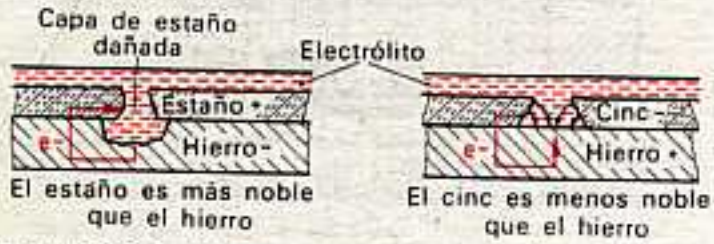


Figura 2-118. Acciones protectoras mediante recubrimiento metálico.

p. ej. una chapa de acero en cinc. A continuación se deja escurrir el metal sobrante, quedando una capa delgada. Un recubrimiento de este tipo es el cincado al fuego.

Acciones protectoras del estaño y el cinc

En la chapa de acero estañada con la superficie dañada, el estaño es electroquímicamente más noble que el hierro, de forma que los iones hierro pasan a la solución. La corrosión prosigue por debajo del recubrimiento metálico y forma óxido de hierro, que por su gran volumen hace saltar la capa de estaño (oxidación interna).

En la chapa de acero cincada con la superficie dañada, el cinc es menos noble que el hierro y hace de cátodo. El cinc es destruido, por lo que se forma un flujo de electrones del cinc al hierro.

Procedimiento galvánico (niquelado, cromado, cobreado). La pieza limpia se sumerge en una solución de sal metálica y se une por el polo negativo a una fuente de corriente continua. En el polo positivo se fija el metal de recubrimiento.

Por la acción de la corriente eléctrica los iones metálicos cargados positivamente emigran de la solución de sal a la pieza, donde toman electrones y se convierten en átomos metálicos neutros que se depositan sobre la superficie de la pieza. Véase página 84.

El metal de recubrimiento se disuelve por tanto en la misma cantidad que se separan los átomos metálicos de la pieza.

Chapeado. Consiste en el laminado de capas metálicas finas sobre un metal base. De esta forma se ahorra material caro.

A pistola. Con aire a presión se aplican metales líquidos, p. ej. plomo, cinc, e incluso acero, sobre una pieza.

RECUBRIMIENTOS QUÍMICOS

Pavonado. Se da a las piezas de acero una protección superficial negra por combustión repetida con aceite a 400°C. Éste procedimiento no proporciona ninguna protección permanente.

Fosfatado (llamado también bonderizado). Por rociado o inmersión se aplica una solución acuosa de fosfato de manganeso o de cinc (sales de ácido fosfórico) a la superficie metálica, previamente desoxidada y desengrasada. De esta manera se forma una capa protectora de fosfato de hierro. Generalmente sirve de base para otras capas protectoras.

El **tratamiento superficial electrolítico** consiste en una oxidación artificial para reforzar las capas de óxidos naturales de las aleaciones de aluminio. Los defectos de planicidad, grietas y arañazos son visibles después del tratamiento. La capa de protección es sólida y no se desprende.

Anodizado. En un baño con ácido sulfúrico empleado como electrólito se pone una placa de plomo (como polo negativo) y la pieza de aluminio (como polo positivo). Si se hace pasar una corriente continua, en la pieza se forma una capa de óxido debido al oxígeno liberado, el anodizado (aluminio oxidado en el ánodo).

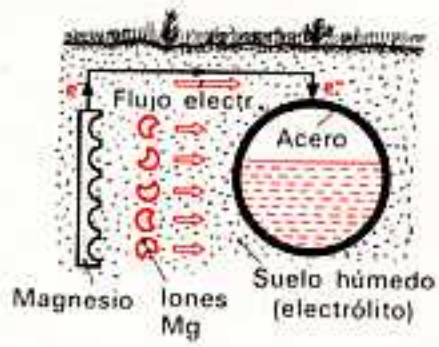


Figura 2-119. Protección catódica contra la corrosión.

PROTECCIÓN CATÓDICA CONTRA LA CORROSIÓN

Si se une mediante un conductor la varilla de magnesio (figura 2-119) con el cuerpo de acero a proteger, el magnesio desprende iones (elemento galvánico). Los electrones liberados en el magnesio fluyen hacia el acero y generan una tensión mediante la cual se evita que los iones se desprendan del hierro y destruyan el metal.

2.8 Plásticos

2.8.1 Fundamentos

SUBDIVISIÓN Y PROPIEDADES

Los plásticos son substancias orgánicas de alto peso molecular, obtenidas ya sea sintéticamente o por transformación de substancias naturales.

Orgánico indica que las moléculas de esta substancia son semejantes en su estructura a las de los organismos vivos.
Sintético significa que la estructura de estas combinaciones químicas, al contrario que en las substancias naturales, es el resultado de procesos dirigidos por el hombre.

Características comunes importantes son:

1. Se fabrican partiendo de materias primas baratas y técnicamente fáciles de obtener. En su mayor parte se trata de combinaciones del carbono, con excepción de la silicona, que se deriva de una combinación de silicio y oxígeno.
2. Tienen una densidad pequeña, inferior a la del aluminio ($\rho = 0{,}9$ a 2 kg/dm^3).
3. Generalmente poseen una superficie lisa y se pueden colorear, por lo que no hace falta pintarlos.
4. Tienen una superficie impermeable, son pues estancos al agua y al gas.
5. Son variadamente estables frente a los ácidos, debiendo adaptarse esta estabilidad a la aplicación deseada.
6. Son malos conductores del calor, pero se dilatan fuertemente por efecto de éste. La estabilidad al calor y de forma son limitadas.
7. Casi todos pueden emplearse como aislantes eléctricos, ya que prácticamente no son conductores. En la combustión se convierten parcialmente en ceniza, ardiendo sin llama, pero sin embargo desprenden gases corrosivos, por lo que pueden producir grandes daños en máquinas y herramientas.
8. Pueden mecanizarse fácil y rápidamente. Por colada, estampación, laminación, soldadura, inyección o soplado pueden dárseles las más variadas formas.

Termoplásticos, termoestables, elastoplásticos

Los plásticos se diferencian por la combinación de las macromoléculas: termoplásticos — combinación de las moléculas por fuerzas físicas; termoestables — combinación química de retícula estrecha; elastoplásticos — retícula ancha.

Ensayos: Una tira de resina fenólica (termoestable) y otra de poliestireno (termoplástico) pueden partirse fácilmente a la temperatura ambiente. Si se calientan ambos materiales, el termoestable sigue siendo quebradizo, pero, por el contrario, el termoplástico se deforma con facilidad. El proceso puede repetirse cuantas veces se quiera con los termoplásticos.

Ensayos: Los termoestables se descomponen a altas temperaturas con desprendimiento de vapores acompañados de mucho humo. Los termoplásticos se ablandan, se descomponen y arden con llama pequeña, goteando parcialmente.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Todos los plásticos contienen carbono e hidrógeno, y algunos oxígeno, nitrógeno, azufre y cloro.

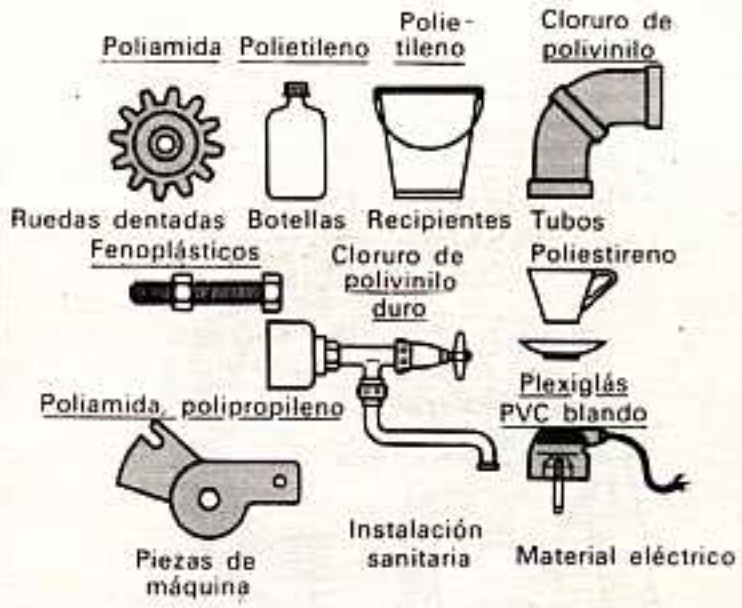


Figura 2-120. Aplicaciones de los plásticos.

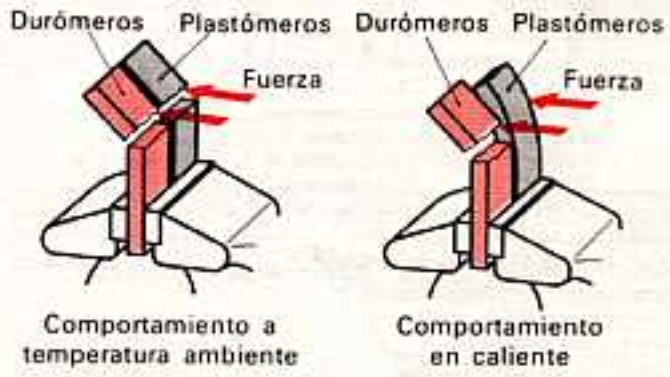


Figura 2-121. Comportamiento de los termoestables y los termoplásticos a temperatura ambiente y al calor.

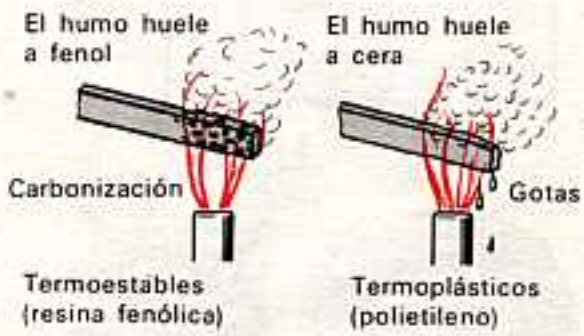


Figura 2-122. Comportamiento de los termoestables y termoplásticos.

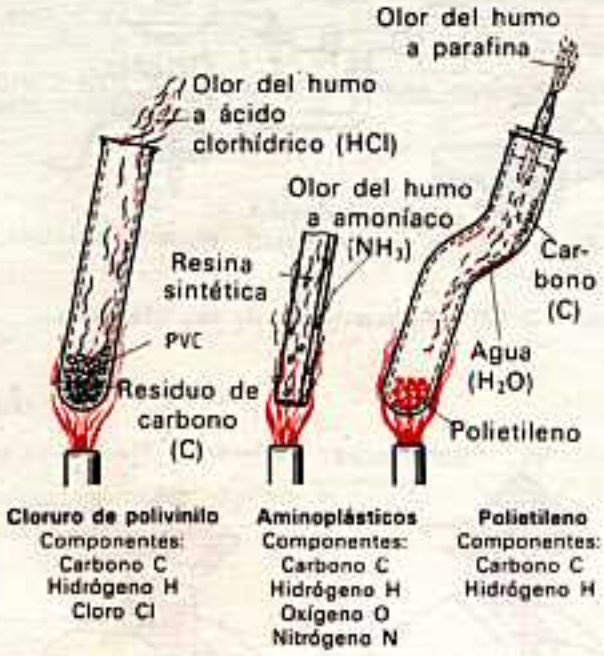


Figura 2-123. Composición química.

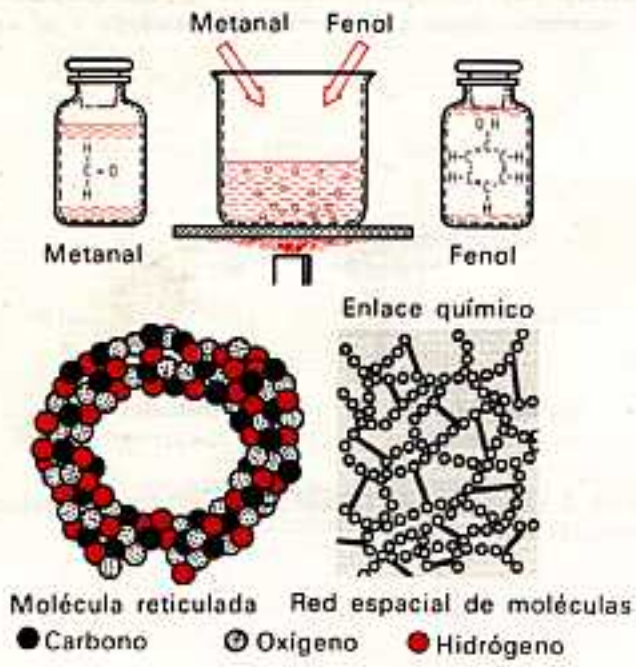


Figura 2-124. Plásticos termoestables: Las moléculas de fenol y metanal se unen formando una molécula de baquelita. Están unidas entre sí químicamente y forman macromoléculas reticuladas espacialmente.

1. Ensayo: En un tubo de ensayo se calienta PVC en polvo (cloruro de polivinilo). El plástico se descompone, quedando como residuo negro carbono (C). Los humos desprendidos tienen el olor punzante del ácido clorhídrico (HCl).

2. Ensayo: La llama del mechero Bunsen calienta la resina sintética (aminoplástico). La substancia se carboniza, percibiéndose un olor a moníaco (NH_3, compuesto de nitrógeno e hidrógeno). Además se nota un olor pestilente a cuerno quemado.

3. Ensayo: En un tubo de ensayo se calientan unos trocitos de polietileno. En la abertura del tubo pueden encenderse los vapores grises ascendentes. Se deposita carbono (C). En la pared interior del tubo de ensayo se forma agua (H_2O).

2.8.2 Subdivisión tecnológica

DIVERSAS PROPIEDADES DE LOS TERMOESTABLES Y TERMOPLÁSTICOS

Termoestables

Ensayo: En un vaso de cristal se calientan 20 g de solución de metanal con 20 g de una solución acuosa de fenol y un poco de amoníaco. La mezcla empieza a formar espuma y se convierte en una masa amarilla clara.

Observación: Se trata de una resina fenólica (baquelita, nombre comercial para las resinas sintéticas según el descubridor, Bakeland). El plástico se ha endurecido al cabo de algunos días. Se compone de muchas moléculas de fenol. La combinación de estas moléculas (análogo a un puente de unas moléculas de fenol con otras) tiene lugar por el metanal (antigua denominación, formaldehído). Muchos miles de moléculas de fenol y metanal se combinan y forman una complicada molécula de baquelita. Están reticuladas espacialmente, de donde proviene su dureza y fragilidad. Un ligero calentamiento no puede cambiar las moléculas reticuladas espacialmente, por lo que no son deformables. Las combinaciones con redes espaciales sólo pueden destruirse químicamente por calentamiento, lo cual implica la destrucción del plástico.

Termoplásticos

Ensayo: En un vaso de cristal hay estireno líquido. Si se añade un catalizador (acelerador de la reacción) en la proporción 1:10, a una temperatura de unos 200°C se forma una masa espesa que solidifica después de algún tiempo. De la masa pueden estirarse hilos.

Resultado: Las distintas moléculas de estireno se han combinado entre sí formando moléculas gigantes que están enlazadas como un hilo. Por esta razón se llaman moléculas filiformes. El proceso se llama **polimerización** (polys-griego: mucho; meres-griego: parte). Con esta designación se quiere expresar que se han unido **muchas partes** iguales. La cohesión interna de las partículas procede principalmente de fuerzas físicas.

Cada vez que se calientan los termoplásticos, las moléculas filiformes se mueven entre sí y se produce la fluencia plástica de la substancia, y cada vez que se enfrían, se aglomeran por tramos (parcialmente cristalina) o bien en forma compacta enmarañada (amorfa). Mediante alargamiento, es decir, estiramiento de la substancia, las moléculas filiformes se orientan de forma que aumenta diez veces la resistencia longitudinal del plástico. De esta forma se explica por ejemplo la gran resistencia al desgarro de algunas conocidas fibras químicas (perlon, nylon).

Para la subdivisión de los plásticos son decisivos los elementos componentes.

Elastoplásticos

Se componen de pocas cadenas de moléculas enlazadas en forma de hilos, que si no están sometidos a carga se presentan en forma de ovillo. Se caracterizan por su elevada elasticidad y su gran alargamiento. Los elastoplásticos pueden soportar grandes cambios de forma y volver a su estado primitivo después de cesar la acción de la carga, es decir, que la forma de ovillo de las cadenas de moléculas se estira. Los elastolásticos soportan alargamientos de varias veces su longitud original. Al contrario que los termoplásticos, los elastoplásticos no pueden fundirse de nuevo.

2.8.3 Fabricación de piezas

ELABORACIÓN DE PLÁSTICOS TERMOESTABLES

Los **polvos de moldeo** son plásticos termoestables mezclados con substancias de relleno (cargas).

Entre los termoestables importantes están los fenoplásticos y los aminoplásticos.

Los fenoplásticos se componen de fenol (C_6H_5OH — del alquitrán de hulla) y metanal (HCHO). Del plástico se desprende olor a ácido férrico. Los aminoplásticos están compuestos de urea y metanal. La urea se obtiene de amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2). Puesto que estos plásticos son frágiles, se les añaden cargas de relleno (piedra molida, fibra de amianto, serrín, trozos de papel). El plástico gana así en resistencia y elasticidad, reduciéndose su fragilidad.

Los polvos de termoestables se moldean por **prensado**. Para ello se colocan en los moldes las cantidades necesarias de polvo calentado previamente. El molde va provisto de calefacción permanente. Una vez cerrado el molde, la masa lo rellena. El calentamiento se hace a una temperatura de 140 a 170°C y la presión aplicada es de varias centenas de bar. Una vez endurecido el polvo de plástico, se abre el molde y se expulsa la pieza.

El color natural de los fenoplásticos es pardoamarillento. Entre otras piezas, se fabrican con este material muebles de aparatos de radio, interruptores eléctricos, envases, cajas, discos y tubos. Los aminoplásticos son inodoros, insípidos e incoloros. Se fabrican con ellos piezas de electrodomésticos, teléfonos y artículos electrotécnicos. Ensayo de combustión: las probetas huelen a pelo quemado.

Las piezas formadas por moldeo a presión de láminas son más duras que las obtenidas por el moldeo de polvos. Están constituidas por capas de tela o de papel, como carga de relleno, impregnadas de resina fenólica, que se prensan en caliente. En forma de placas, se conocen como papel duro y tela prensada (celotex). Entre otras piezas prensadas fabricadas por este procedimiento figuran engranajes, casquillos para cojinetes, roldanas para poleas, revestimientos o aislamientos. Las substancias prensadas en capas son muy duras, dúctiles y se mecanizan bien por arranque de viruta. Algunas denominaciones comerciales son: Durcoton, Linex, Novotex y Resistex, para telas prensadas, y Pertinax y Trolitax para papel duro.

La **madera contrachapeada** se obtiene uniendo hojas delgadas de madera mediante resinas sintéticas. Piezas acabadas por este sistema son: mobiliario, engranajes, estanterías, etc.

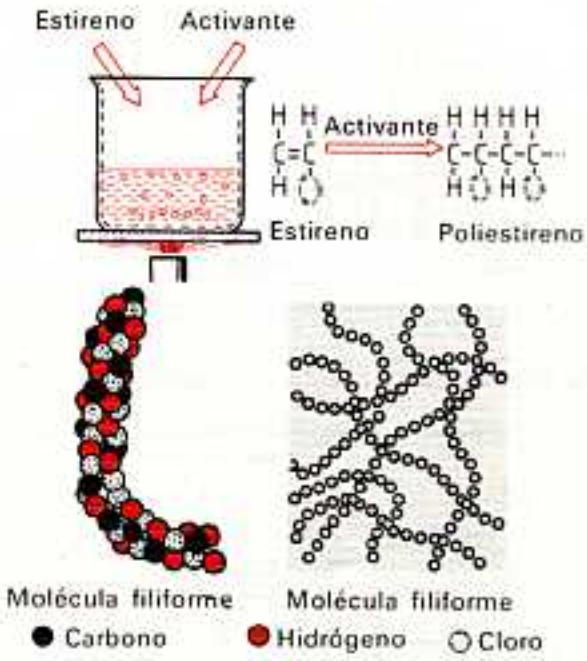


Figura 2-125. Termoplásticos: Las moléculas filiformes están unidas entre sí por fuerzas físicas. El modelo de la figura está ampliado 1 millón de veces y esponjado. Realmente los hilos están enmarañados de forma compacta.

Elastoplásticos	Aplicación
Caucho natural	Neumáticos de camión, apoyos de goma, cintas trasportadoras
Caucho de poliuretano	Rodillos móviles, espumas
Caucho de estireno y butadieno (buna)	Juntas, neumáticos de automóviles, perfiles
Caucho de silicona	Forro aislante de cables. Juntas para altas solicitaciones térmicas y eléctricas

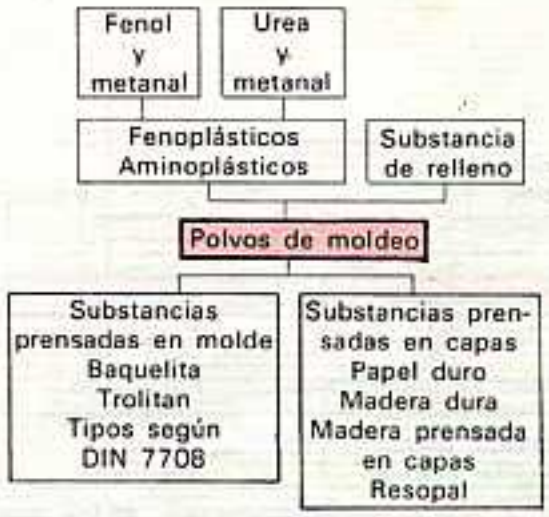


Figura 2-126. Estructura de los plásticos termoestables.

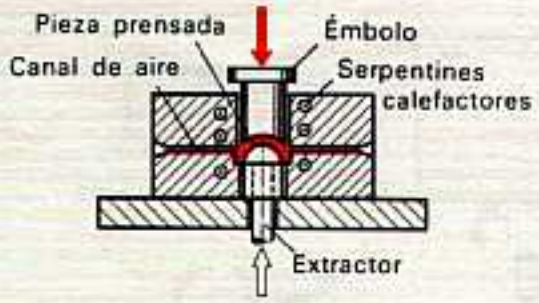


Figura 2-127. Estampación con molde.

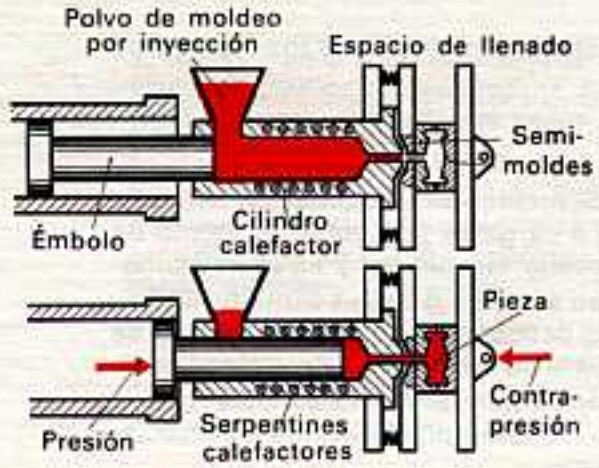


Figura 2-128. Procedimiento de inyección.



Figura 2-129. Estirado por aspiración.

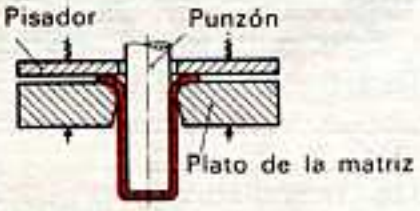


Figura 2-130. Embutición profunda sin matriz.

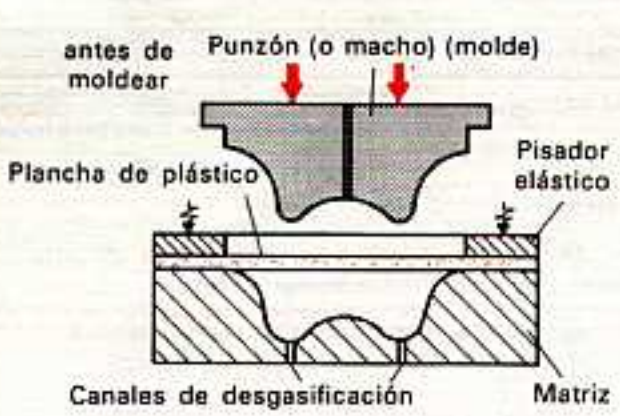


Figura 2-131. Embutición profunda con matriz.

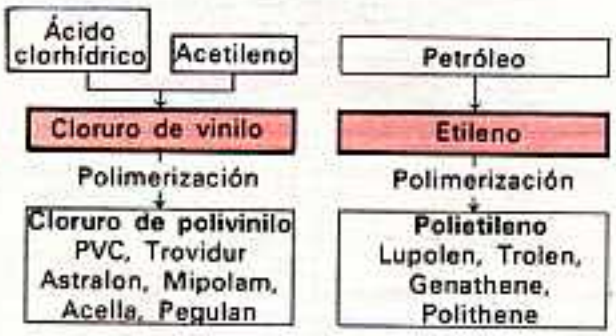


Figura 2-132. Estructura de los termoplásticos.

ELABORACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS

Los termoplásticos se deforman plásticamente calentándolos entre 80 y 200°C y no pierden sus propiedades. A la temperatura ambiente son sólidos y dúctiles. Plásticos de esta clase son el poliestireno, la poliamida y el cloruro de polivinilo.

En la **colada por inyección,** los polvos de plástico se inyectan a través de una tobera dosificadora en un molde refrigerado, donde solidifican muy rápidamente y toman la forma del mismo, p. ej. jaulas para rodamientos y ruedas dentadas.

El **estirado por aspiración** (moldeado al vacío) es una conformación por tracción (figura 2-129). Es muy apropiada para piezas planas de gran superficie. La matriz está conectada mediante orificios a una cámara de depresión. Al abrir una válvula, la plancha de plástico caliente es atraída hacia la matriz por la presión atmosférica y enfriada; p. ej., platos, bandejas.

La **embutición profunda con punzón,** figura 2-130, es un procedimiento de tracción y compresión especialmente apropiado para fabricar piezas redondas, p. ej. tubos. La plancha de plástico calentada es conformada por el punzón frío descendente. Para obtener un espesor de pared uniforme se calientan el plato de la matriz y el pisador.

En los trabajos con matriz y punzón, figura 2-131, es necesario una exacta regulación de la temperatura de ambas piezas.

2.8.4 Termoplásticos

PLÁSTICOS IMPORTANTES

El cloruro de polivinilo (PVC) es el termoplástico más empleado y se obtiene con ácido clorhídrico (HCl) y acetileno (C_2H_2). Ambas substancias de partida se combinan formando gas cloruro de vinilo. Por polimerización se obtiene el cloruro de polivinilo, que es un polvo blanco.

El **PVC duro** sustituye en muchos casos a los metales. Se fabrica en planchas y en tubos (depósitos y tuberías). Las piezas se mecanizan con arranque de viruta de la misma forma que los metales. La resistencia a la tracción es de 60 N/mm² a temperatura normal y el alargamiento es del 300%. La conductividad térmica es muy pequeña. El PVC duro es muy sensible al entalle, es insípido e inodoro, y resistente a las lejías y a los ácidos.

El **PVC blando** se fabrica como el PVC duro con adición de un «reblandecedor». Por este sistema consigue propiedades como las de la goma blanda. Se colorea y se lamina en forma de hojas y planchas. Ejemplos de aplicación son las mangueras con o sin soporte textil y el cuero artificial para tapicería. El PVC blando se corta, perfora y suelda bien, pero por arranque de viruta se mecaniza mal.

El **polietileno** (símbolo PE = polietileno) es ligero (ρ = 0,92 a 0,95 kg/dm³) y no es atacado por el agua. Es químicamente estable frente a ácidos, lejías y grasas. Es atacado por la gasolina y los aceites lo dañan. El polietileno es inodoro e insípido, buen aislante y resistente a la corrosión. Para uso permanente es adecuado hasta 70°C. Ejemplos de aplicación: material de embalaje, botellas para productos químicos, aislantes eléctricos.

El **perlón y el nylón son poliamidas.** Estos materiales son de aspecto córneo, elásticos, muy alargables y poseen una gran tenacidad y resistencia al desgaste. Si se estiran en hilos hasta alargarlos de dos a tres veces, se alcanza una resistencia cuatro veces mayor. Con estos hilos se fabrican fibras textiles resistentes, teñibles e inarrugables.

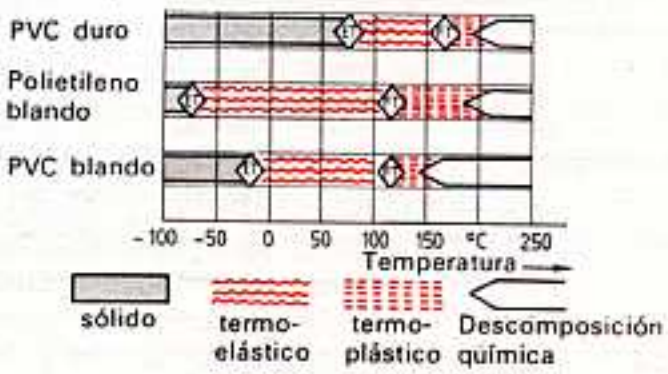


Figura 2-134. Formas de estado de diferentes termoplásticos.

COMPORTAMIENTO DE LOS TERMOPLÁSTICOS SOMETIDOS A CALENTAMIENTO

Los termoplásticos pueden adoptar un estado sólido termoelástico y termoplástico. El plástico sólido es apropiado para trabajos de corte (limado, aserrado, fresado, taladrado, torneado y punzonado). Si se calienta el plástico sólido, en el intervalo de la temperatura de reblandecimiento o de congelación (símbolo ET), la resistencia disminuye repentinamente. El material pasa a un estado termoelástico semejante a la goma y se deforma fácilmente. En este intervalo se produce la conformación por plegado, estirado, embutición profunda y estampado. Mediante enfriamiento posterior por debajo de la temperatura de congelación, la pieza adopta una forma estable. Si la pieza conformada se calienta de nuevo por encima del límite ET, entonces actúan en el material fuerzas residuales. Esto motiva que, por ejemplo, un tubo adopte de nuevo la forma de la plancha anterior a la conformación.

Si se sigue calentando, el plástico pasa al intervalo de la temperatura de fluencia (símbolo FT), o sea al intervalo termoplástico (fluido). Por encima del límite FT tiene lugar la formación de brutos, como la colada, el prensado en caliente, la estampación, extensión o unión, p. ej., soldadura. Las piezas fabricadas en este intervalo tienen también forma estable en el intervalo termoelástico.

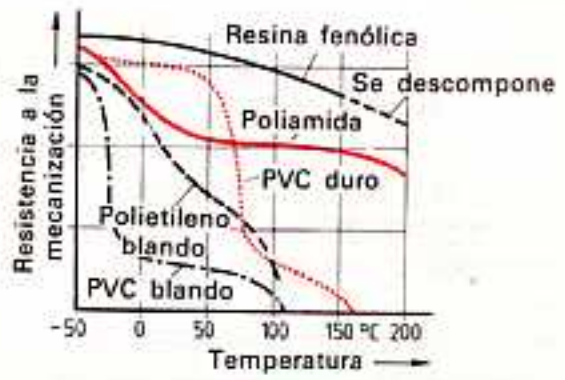


Figura 2-133. Comportamiento mecánico de algunos plásticos al calentarlos.

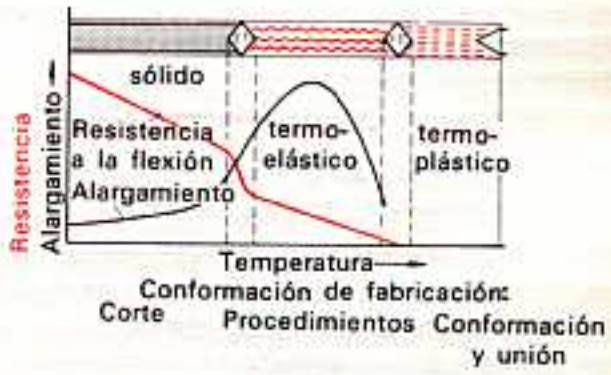


Figura 2-135. Comportamiento de los termoplásticos frente a los cambios de forma.

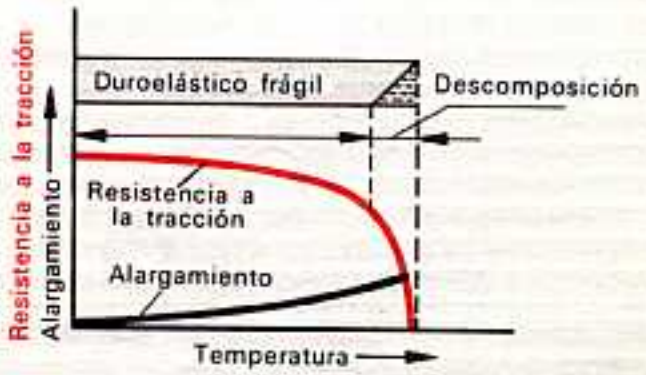


Figura 2-136. Comportamiento de los termoestables frente a los cambios de forma.

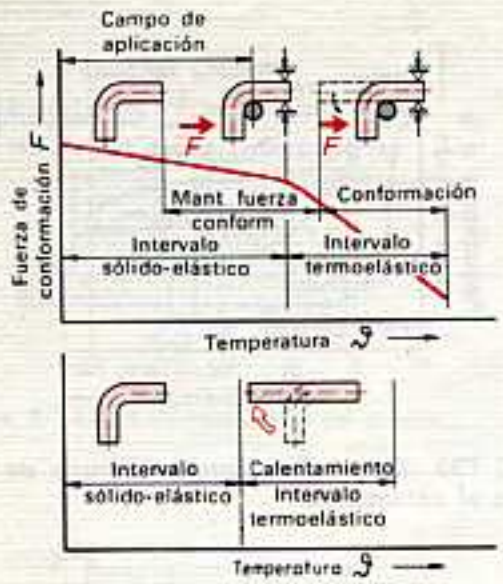


Figura 2-137. Conformación por plegado y «capacidad de memoria» del material.

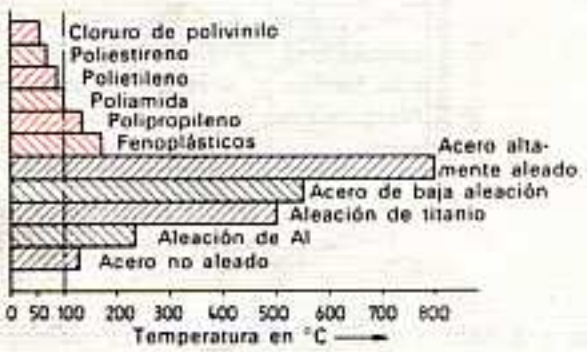


Figura 2-138. Límites de temperatura de las aplicaciones de plásticos y metales.

Calentado por encima del intervalo termoplástico empieza la descomposición química del plástico.

2.8.5 Conformación y pegado

CONFORMACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Los termoplásticos pueden conformarse sin grandes esfuerzos en el intervalo termoelástico. Al aumentar la temperatura, a partir del estado sólido-elástico aumenta la elasticidad de la pieza, de forma que con pequeños esfuerzos se obtiene un gran alargamiento. Si el plástico se enfría pasando de nuevo del intervalo termoelástico al sólido-elástico, manteniendo una cierta fuerza de conformación, esta última casi se conserva.

Termoestables (substancias orgánicas de relleno)	PVC duro	Poliamidas
Velocidad de corte en m/min		
Torneado 200...250	1 000...1 500	300...1 000
Taladrado 60...80	200	Hasta 1 000
Fresado 200...500	Hasta 100	Hasta 1 000
Avance en mm/vuelta		
Torneado 0,1...0,3	0,1...0,2	0,1...0,3
Taladrado 0,1	0,1...0,5	0,1...0,5
Fresado 0,1...0,3	0,3	0,3
Ángulo de viruta en °		
Torneado 12...25	0	40...50
Fresado 20...25	0...25	25
Ángulo de salida en °		
Torneado 8	15	8...10
Taladrado 6...8	8...10	8...15
Fresado 10...20	25...30	25...30

Si la pieza moldeada se calienta de nuevo por encima del intervalo sólido-elástico, sin intervención de fuerzas externas, se vuelve de nuevo a la forma primitiva.

Es conveniente trabajar con una velocidad de conformación alta. En la conformación lenta, con un grado de conformación alto, se fórman unas fisuras finísimas en el material que por efecto de la entalla pueden conducir a roturas. A temperaturas inferiores la formación de fisuras es menor, aunque también lo es la estabilidad de forma de la pieza.

Una pequeña tendencia a la recuperacion exige temperaturas de conformación elevadas; grados elevados de conformación exigen bajas temperaturas de ella.

Mecanización de los plásticos por arranque de viruta

En la mecanización por arranque de viruta la temperatura de trabajo no debe subir demasiado. La mala conductividad térmica de los plásticos motiva la acumulación de calor en los puntos donde se mecaniza, que en los termoestables hace que lleguen a quemarse y en los termoplásticos a que se reblandezcan.

Para evitar esto hay que procurar una buena eliminación de la viruta y una buena refrigeración que suele ser por aire. Para evitar que se queme la punta de la herramienta se utilizan aceros rápidos o aceros para herramientas con filo de metal duro.

En los termoestables se producen virutas cortas y quebradizas, y en los termoolásticos, por el contrario, virutas largas y de buena eliminación. Las acanaladuras y huellas deben evitarse debido a la acción de la entalla. Las velocidades de corte pueden ser mayores que en el acero. En general se debe:

Trabajar con altas velocidades de corte y pequeños avances.

PEGADO DE LOS PLÁSTICOS

Los plásticos pueden unirse entre sí por pegado.

Los **termoplásticos** tales como el cloruro de polivinilo, el plexiglás y el poliestireno se deshacen con un disolvente, y se unen inmediatamente después de aplicar el pegamento. Los pegamentos están generalmente en un plástico diluido en el disolvente.

Los **termoplásticos** tales como el polietileno sólo pueden disolverse en determinadas condiciones en un disolvente. Por esta causa las piezas de ensamble se graban previamente. El pegamento es por ejemplo una resina epoxi. La resistencia de la unión pegada es menor que la de los materiales unidos.

Los **termoestables** se desengranan antes de pegarlos y se raspan para darles rugosidad. El pegamento, p. ej. una resina epoxi, se aplica por las dos caras y debe endurecerse.

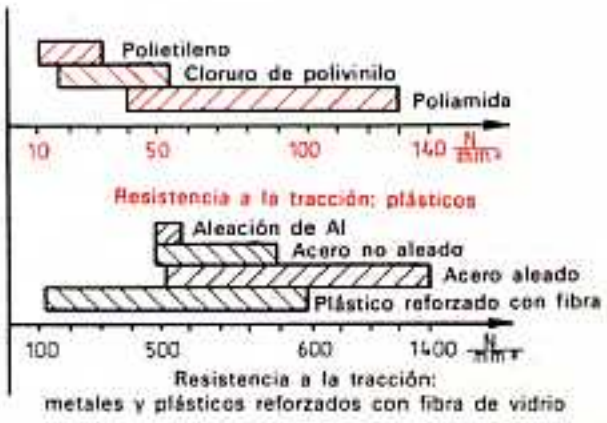


Figura 2-139. Comparación de la resistencia a la tracción de plásticos y metales.

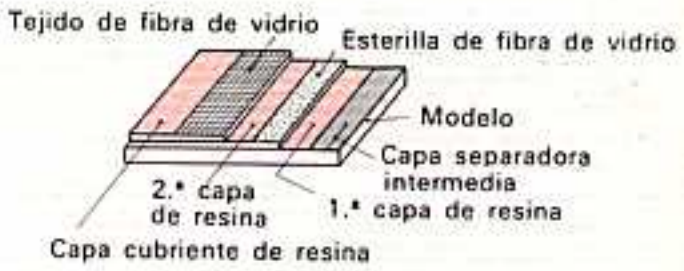


Figura 2-140. Laminado a mano.

2.8.6 Materiales combinados

PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO

Los plásticos reforzados son fibra de vidrio combinan altas propiedades mecánicas con poco peso.

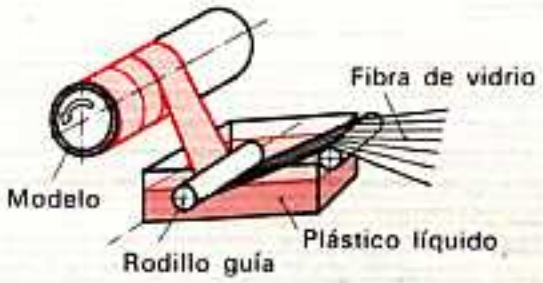


Figura 2-141. Procedimiento de enrollado húmedo.

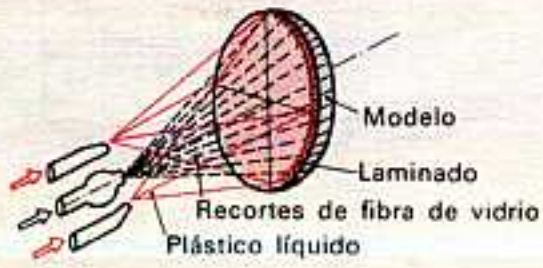


Figura 2-142. Inyección de fibras y resina sintética.

Materiales matriciales, materiales fibrosos Procedimiento de fabricación

Como masa base/material matricial se consideran los termoestables y las resinas de poliésteres o resinas epoxi.

Los plásticos son tenaces pero tienen poca resistencia a la tracción. Las fibras de vidrio son frágiles pero, en cambio, son muy resistentes a la tracción. En los plásticos reforzados con fibras de vidrio se combina la alta resistencia a la tracción de las fibras de vidrio con la tenacidad de los plásticos. Por lo tanto, se compensan la fragilidad de las fibras de vidrio y la baja resistencia a la tracción de los plásticos. En el sentido de las fibras se alcanza una resistencia a la tracción de 400 a 500 N/mm², con una densidad de 1,4 a 1,8 kg/dm³.

1. En el laminado a mano se coloca el tejido de fibra de vidrio y/o esterilla de fibra de vidrio en el molde provisto de una capa separadora y de una capa de resina, se impregna luego con resina y se aplica una capa cubriente de la misma.
2. En el procedimiento de enrollado se pasan las fibras de vidrio por un baño de resina y se van enrollando en un núcleo que gira (fabricación de tubos y depósitos).
3. En el caso de inyección de resina y fibra se intercalan fibras cortas en la prensa de inyección.

Ejercicios

Corrosión de los materiales metálicos

1. ¿A qué influencias están sometidos los metales por la acción del aire?
2. La capa de óxido de un metal no férreo representa muchas veces una protección. Explicarlo.
3. ¿Por qué se oxida muy lentamente el acero en locales secos?
4. Comparar la resistencia a la oxidación de la fundición gris, del acero no aleado y del acero de alta aleación.
5. «El óxido se devora a sí mismo». ¿Qué afirma esta expresión?
6. Citar algunas lejías y ácidos importantes e indicar su estructura química.
7. ¿Qué efectos producen los ácidos en los metales?
8. ¿Por qué hay que rotular las botellas de lejías y ácidos?
9. Explicar la destrucción de un metal por corrosión de contacto, corrosión de grietas y corrosión de picaduras.
10. Dar ejemplos de protecciones superficiales no metálicas, metálicas y químicas.

Plásticos

1. Comparar: a) densidad; b) indeformabilidad; c) conductibilidad térmica y d) mecanizabilidad entre el aluminio y un termoplástico.
2. Diferenciar los termoestables de los termoplásticos.
3. ¿De qué elementos importantes se componen químicamente los plásticos?
4. Muchos plásticos se obtienen por polimerización. Explicar este concepto. ¿Cuál es la causa de la dureza y fragilidad de los termoestables?
5. ¿Qué propiedades de los plásticos condicionan sus límites de aplicación industrial?
6. ¿Qué afirman las designaciones plástico endurecible y plástico no endurecible?
7. Citar ejemplos de aplicación de plásticos endurecibles. ¿Qué permite determinar un ensayo de combustión?
8. Las ruedas dentadas pueden fabricarse con láminas prensadas. Describir la estructura del material.
9. ¿Qué misión tienen las substancias de relleno en los plásticos endurecibles?
10. Diferenciar la estampación en molde de la embutición profunda.
11. Comparar las propiedades mecánicas del PVC duro y el PVC blando.
12. El PVC duro es sensible al entalle. ¿Qué quiere decir esto?
13. ¿Cómo se explica la alta resistencia a la tracción del perlón y del nylón (poliamidas)?
14. Los polietilenos se emplean en objetos domésticos. ¿Por qué?
15. Un tubo en U fabricado con PVC duro y calentado a 100°C no tiene ya estabilidad de forma. ¿Por qué?
16. ¿En qué intervalos de estado pueden realizarse con más ventaja el corte, el plegado y el prensado en caliente de los plásticos?
17. Explicar el conformado curvo de una varilla de plástico.
18. ¿Por qué es más ventajoso trabajar con una velocidad de conformación alta?
19. Comparar los valores tipo para velocidad de corte y avance en la mecanización por arranque de viruta del acero y los plásticos.
20. Comparar, en trabajos de torneado, los valores tipo de ángulo de viruta en el acero y en los plásticos.

2.8.7 Resumen sobre los plásticos

Símbolo según DIN	Propiedades	Comportamiento en presencia de llama pequeña	Aplicación y mecanización
CLORURO DE POLIVINILO Nombres comerciales: Hostalit, Vinoflex, Vestorit, Vinidur, Skai, Acella, Mipolam			
PVC duro	Resistencia a la tracción 30 N/mm²... 50 N/mm², densidad 1,38 g/cm³, duro y tenaz, se rompe difícilmente, forma estable hasta 60°C.	Se carboniza, hollín intenso, no gotea, olor penetrante a ácido clorhídrico.	Tuberías, aparatos, accesorios, placas, perfiles. Mecanización: por arranque de viruta, se pega y es soldable.
PVC blando (con reblandecedor)	Resistencia a la tracción 10 N/mm²... 14 N/mm², densidad 1,2 g/cm³, de blando como la goma a correoso	Como el PVC duro, fácilmente inflamable.	Mangueras, láminas, mangos, enchufes, cuero artificial, cubiertas y burletes.
POLIETILENO Nombre comercial Hostalen, Vestolen, Lupolen			
PE duro	Rígido, irrompible, resistencia a la tracción 25 N/mm², densidad 0,94 g/cm³ forma estable hasta +100°C, resistente a los ácidos y lejías.	Fácilmente fundible, llama con núcleo azul, sin hollín, sus vapores huelen a parafina.	Recipientes para uso doméstico, conducciones de agua, botellas, construcción de aparatos. Mecanización: por arranque de viruta, puede pegarse, no soldable.
PE blando	Blando, flexible, superficie similar a la cera, resitencia a la tracción 10 N/mm², forma estable hasta +80°C.		
POLIPROPILENO Nombres comerciales: Hostalen PP, Novolen, Vestolen P			
PP	Duro, irrompible, densidad 0,89 g/cm³, forma estable hasta 130°C, se quiebra por debajo de 0°C.	Fácilmente fundible, sin hollín, gotea.	Carcasas, piezas de lavadoras, piezas de automóviles.
POLIESTIRENO Nombres comerciales: Polystyrol, Hostyren, Vestyron, Styroflex			
PS	Transparente como el vidrio, puede teñirse, sensible a los golpes, resistencia a la tracción 50 N/mm²...75 N/mm², reblandecimiento a +80°C, resistente a los ácidos y lejías, pero no a la gasolina y el benceno.	Fácilmente inflamable, emite luz, mucho hollín, los humos tienen un olor dulzón.	Cajas, juguetes, carcasas para aparatos eléctricos, escaparates luminosos, material de embalaje, instrumentos de dibujo.
EPS (Styropor)	Poliestireno espumado, densidad 0,02 g/cm³, buenas propiedades isotérmicas.		Aislantes térmicos e insonorizantes, cuerpos flotantes. Con un agente activo y calentándolo se consigue un aumento de volumen de 20 a 50 veces.
POLICARBONATO Nombres comerciales: Madrolon, Makrofol, Lexan			
PC	Resistencia a la tracción 65 N/mm², densidad 1,2 g/cm³, temperatura de reblandecimiento 165°C, transparente como el vidrio, puede teñirse, resistencia a los ácidos y lejías, sólido y resistente a los golpes.	Se funde, carboniza, no gotea, forma burbujas, con hollín, autoextinguible.	Piezas de forma, láminas, aparatos médicos. Mecanización: por arranque de viruta, se pega y suelda, inyectable.
POLIAMIDA Nombres comerciales: Durethan, Ultramid, Vestamid, Fibras de poliamida (nylon, perlon)			
PA	Similar al cuerno, resistente al desgaste hasta +100°C, temporalmente irrompible hasta 180°C, resistencia a la tracción 60 N/mm²...80 N/mm², densidad 2,2 g/cm³.	Llama azulada con borde amarillo, gotea y estira hilos, el humo huele a cuerno quemado.	Elementos de máquinas (p. ej., tornillos, casquillos de cojinetes, guías, ruedas dentadas, rodillos portadores y conductores), cables, cascos protectores, fibras textiles.
POLITETRAFLUORETILENO Nombres comerciales: Teflon, Hostaflon			
PTFE	Blando, flexible y tenaz, resistente a los productos químicos, resistencia a la tracción 15 N/mm²...35 N/mm², densidad 2,2 g/cm³, buenas propiedades deslizantes entre −90°C y +260°C.	Se descompone, no arde.	Cojinetes secos, juntas estancas, válvulas, revestimientos, aislantes electrotécnicos.
CRISTAL ACRÍLICO Nombres comerciales: Plexiglas, Plexigum, Resertglas			
PMMA (polimetacrilato)	Claro como el cristal, teñible, no astillable, resistente a los agentes atmosféricos, forma estable hasta 90°C, resistencia a la tracción 55 N/mm², densidad 1,8 g/cm³ muy transparente a la luz.	Emite luz, cruje, el humo huele a fruta.	Cristal de seguridad, tejados, gafas protectoras. Mecanización: por arranque de viruta, se pega y suelda.
RESINA DE POLIESTER NO SATURADA Nombres comerciales: Leguval, Palatal, Vestopal			
UP	Duro y quebradizo a blando, y elástico, incoloro, resistencia a la tracción 15 N/mm², densidad 1,2 g/cm³, la descomposición empieza por encima de los 100°C.	No se funde, llama brillante mucho hollín, el humo tiene un olor dulzón.	Resinas para coladas (el endurecimiento se produce por adición de un endurecedor), adhesivo para metales, lacas duras y resistentes a las rayaduras.
PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO			
GFK	Densidad 1,6 g/cm³, resistencia a la tracción 400 N/mm²...500 N/mm², duro y resistente a los golpes. Se compone de plástico termoestable (poliéster o resina epoxi) y fibra de vidrio. Durante la fabricación el plástico es líquido, endureciéndose a continuación.		Construcción de embarcaciones, herramientas especiales y moldes, tuberías, depósitos, piezas para carrocería, piezas de aviones. Mecanización: por arranque de viruta con metal duro. Uniones atornilladas, remachadas o pegadas. Las partes dañadas pueden repararse laminándolas a mano.
PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRA DE CARBONO			
CFK	Densidad 1,7 g/cm³, resistencia a la tracción 800 N/mm²...1000 N/mm².		Piezas para máquinas y vehículos. Capacidad de absorber grandes solicitacionesn incluso a altas temperaturas.
PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRA DE BORO			
BFK	Densidad 1,9 g/cm³, resistencia a la tracción 1100 N/mm².		

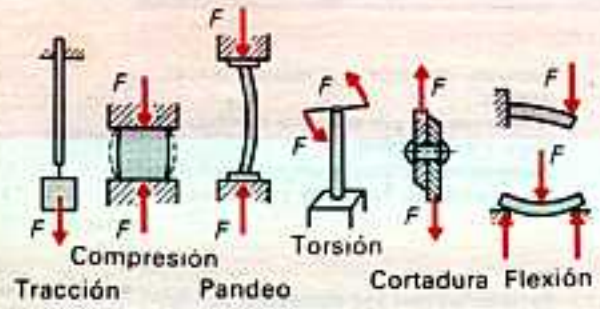


Figura 2-143. Diferentes solicitaciones de la resistencia.

Procedimientos de ensayo mecánico-tecnológicos	Procedimientos de ensayo metalográficos	Procedimientos de ensayo no destructivos
Muestran el comportamiento de los materiales frente a las fuerzas externas y en el mecanizado	Proporcionan conocimientos sobre la estructura y tipo de la textura	Proporcionan información sobre la composición y sobre fallos (grietas, poros, inclusiones)
Solicitaciones continuas, en reposo, por impulsos, periódicamente alternadas	Investigación de la textura en zonas esmeriladas, con aumento al microscopio	Análisis espectral, investigación por rayos X y ultrasonido, procedimiento del polvo magnético

Figura 2-144. Procedimiento de ensayos de materiales.

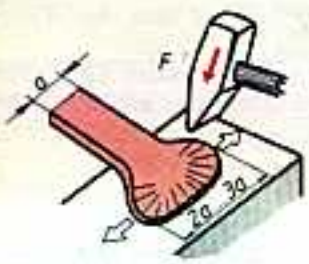


Figura 2-145. Prueba de ensanchamiento.

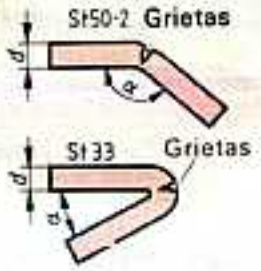


Figura 2-146. Prueba de plegado.

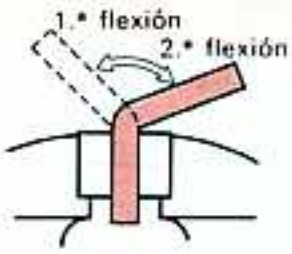


Figura 2-147. Prueba de plegado en uno y otro sentido.



Figura 2-148. Prueba de embutición profunda para chapa.

2.9 Ensayo de materiales

2.9.1 Procedimientos mecanicotecnológicos

Objetivo del ensayo de materiales

Con el ensayo de los materiales deben determinarse los valores de resistencia, verificarse las propiedades y determinarse el comportamiento de aquéllos bajo la acción de las influencias externas.

En los ensayos tecnológicos se investiga el comportamiento del material durante su mecanizado (corte, conformado).

En los ensayos mecánicos se investiga especialmente la resistencia del material a la deformación y la rotura. De acuerdo con la acción de la fuerza que actúa se distingue la solicitación a tracción, compresión, flexión y cortadura. Los valores de la resistencia son distintos según que la solicitación aumente en forma continua o bruscamente.

Ensayo: Se somete una varilla de plástico a tracción con una fuerza creciente en forma continua. La varilla se alarga y al alcanzarse una fuerza demasiado grande, se parte. Si la tracción es de golpe, la varilla se parte como si se cortara con un cuchillo.

ENSAYOS EN EL TALLER

Estos ensayos no dan resultados numéricos, sino que indican solamente el comportamiento del material durante su mecanización.

Forjabilidad. Un acero plano se forja repetidamente, calentándolo, hasta que aparezcan grietas en los bordes. El ensanchamiento debe ser de 1 a 1 $^1/_2$ veces la anchura primitiva sin que aparezcan grietas.

Conformación en frío

a) Un acero plano (de 3 mm de espesor) se dobla en un tornillo de sujeción hasta que aparezcan grietas. Un acero que pueda conformarse bien se puede plegar 180°.

b) Ensayo de flexión en uno y otro sentido. Se sujeta un alambre en un tornillo y se dobla varias veces 180° en un sentido y en el opuesto. Los aceros de alta resistencia se doblan con dificultad y resisten sólo unas pocas flexiones. Del número de flexiones hasta que aparece la rotura puede deducirse la resistencia, tenacidad y deformabilidad del material.

Prueba de la lima. El arranque de viruta es menor en aceros duros, a igualdad de esfuerzo.

Prueba de embutición profunda. Una chapa fijada sólidamente se abolla con ayuda de una maza y aumentando progresivamente la fuerza empleada. Se observa la abolladura hasta que aparezcan las primeras grietas.

Prueba de la chispa. Si se quiere comprobar la clase de acero de que se trata, hay que observar la chispa que resulta al esmerilar (véanse páginas 102-103 y tabla página 104).

Prueba del sonido. Esta prueba (principalmente piezas de fundición) se hace dejando que la pieza cuelgue libremente y golpeándola con suavidad. De esta forma puede distinguirse entre el acero mol-

deado (sonido limpio) y la fundición gris (sonido sordo), así como entre las piezas con grietas y poros.

Juicio según el aspecto. Se trata de comprobar la calidad superficial y los fallos externos, tales como poros, grietas y entallas.

Ensayos de abocinado y rebordeado en tubos. Estos ensayos permiten juzgar si los tubos se agrietan en sus extremos al ensancharlos. En la prueba de rebordeado, hay que ir abriendo el tubo hasta que aparezcan grietas.

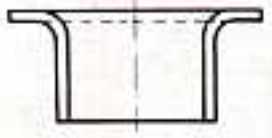


Figura 2-149. Prueba de rebordeado.

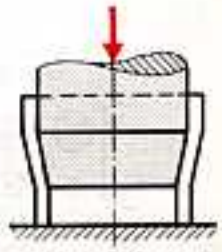


Figura 2-150. Ensayo de abocinado.

Medición de la dureza comparando las huellas

Este procedimiento de ensayo se refiere a la propiedad plástica del material. Entre las dos mordazas de un tornillo de sujeción se aprietan dos placas de distinta dureza, p. ej., acero y aluminio, colocando además en medio una bola. De la diferencia de diámetros de la huella se obtiene un valor comparativo entre las durezas.

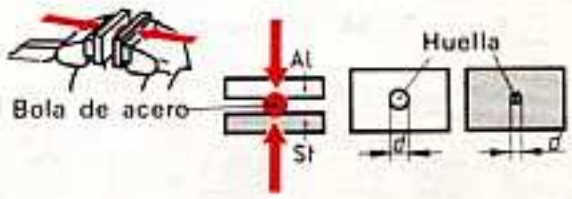


Figura 2-151. Medición de la dureza por comparación de las huellas.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (DIN 50145)

La resistencia y propiedades de deformación de los materiales definidos en las normas DIN son, p. ej., la resistencia a la tracción R_m el límite de fluencia R_{eL} o el límite de alargamiento R_p y el alargamiento de rotura A. He aquí un ejemplo para el acero C35 de DIN 17200:

$$R_m = 600\ \text{N/mm}^2,\ R_{eL} \quad \text{y} \quad R_{p0,2} = 360\ \text{N/mm}^2,\ A = 20\%.$$

Estos valores característicos del material se determinan mediante un ensayo de tracción.

Fuerza y alargamiento. Bajo la acción de la fuerza F la probeta de tracción se alarga de la longitud inicial L_0 a la longitud L. El alargamiento ΔL es la diferencia entre la longitud L y la longitud L_0 .

$$\Delta L = L - L_0$$

Ejemplo: $\Delta L = 204\ \text{mm} - 200\ \text{mm} = 4\ \text{mm}$.

Tensión y coeficiente de alargamiento. En el material de la probeta sometida a tracción se producen tensiones. Si se divide la fuerza de tracción F por la sección inicial S_0, se obtiene la tensión:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \qquad \sigma \text{ en } \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ejemplo: $\sigma = \dfrac{5000\ \text{N}}{50\ \text{mm}^2} = 100\ \dfrac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Si se relaciona el alargamiento ΔL con la longitud inicial L_0, resulta el coeficiente de alargamiento ε de la probeta.

Se expresa en porcentaje:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 \qquad \varepsilon \text{ en } \%$$

Ejemplo: $\varepsilon = \dfrac{4\ \text{mm}}{200\ \text{mm}} \cdot 100 = 2\%$.

Al aumentar la fuerza, el alargamiento, la tensión y el coeficiente de alargamiento aumentan tambien. En el diagrama de tensión esta dependencia se representa mediante una línea recta.

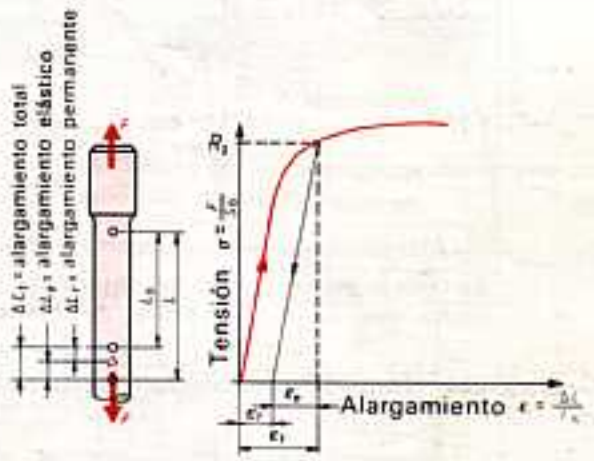


Figura 2-152. Valores de alargamiento/diagrama tensión-alargamiento.

Alargamiento elástico, no proporcional y permanente

En el primer intervalo, el de **alargamiento elástico** (ε_e), el material vuelve siempre a su longitud inicial L_0 una vez suprimida la fuerza. Si se sigue alargando la probeta, el alargamiento aumenta en mayor medida que las tensiones, o sea que el material pasa del estado

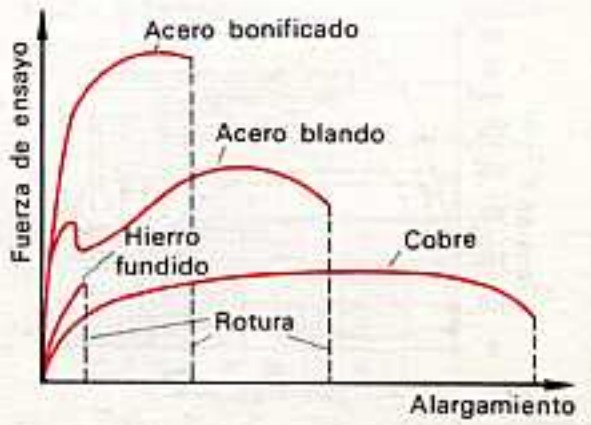


Figura 2-153. Relación entre el alargamiento y la fuerza de ensayo para diversos metales.

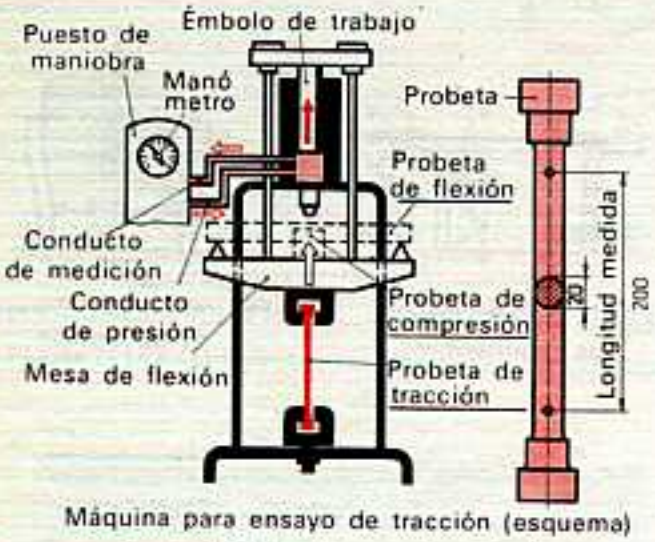


Figura 2-154. Ensayo de tracción.

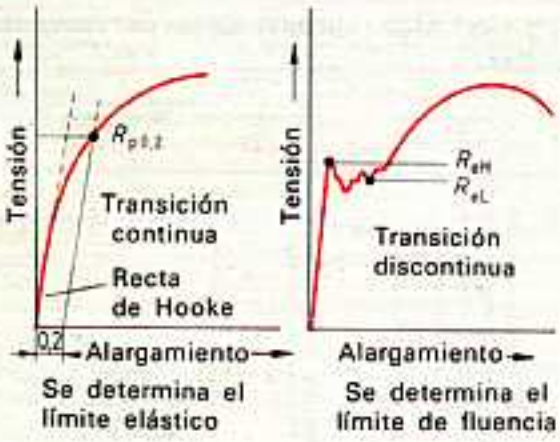


Figura 2-155. Transición del intervalo elástico al plástico.



Figura 2-156. Diagrama tensión-alargamiento.

elástico al plástico. En este intervalo de **alargamiento no proporcional** (ε_p) se produce un **alargamiento permanente** (ε_r). Al cesar la acción de la carga, la probeta no vuelve a su longitud primitiva, sino que queda con el alargamiento ΔL.

Límite de fluencia y límite elástico. Según el tipo de material, el paso del intervalo elástico al plástico es discontinuo (como en el acero de construcción) o continuo (como en el hierro fundido, acero aleado y metales no férreos). En el caso del acero de construcción la retícula atómica se pone en movimiento (intervalo de fluencia), la varilla se alarga sin que aumente la fuerza. Como **límite de fluencia superior** R_{eH} se designa la tensión a partir de la cual aumenta el alargamiento y disminuye la tracción. El **límite de fluencia inferior** R_{eL} es la tensión más pequeña del intervalo de fluencia. Ejemplos: $R_{eH} = 360\ \text{N/mm}^2$; $R_{eL} = 300\ \text{N/mm}^2$. En el caso de transición contínua no se determina exactamente el límite entre el intervalo elástico y el plástico. El **límite elástico** R_p de un material, según se indica en las normas DIN, es por tanto la tensión para un alargamiento no proporcional ε_r (para el acero es generalmente 0,2%), de fácil cálculo.

Ejemplo:
$R_{p0,2} = 360\ \text{N/mm}^2$ significa que para esta tensión el cuerpo sometido a tracción sufre un alargamiento permanente del 0,2% (ε_r). Este valor resulta de ε_t (alargamiento total) menos ε_e (límite elástico).

Alargamiento de rotura y resistencia a la tracción. El alargamiento de rotura A es la variación permanente de longitud ΔL_r, referida a la longitud inicial, después de la rotura de la probeta.

La resistencia a la tracción es la tensión que resulta de la fuerza máxima F_m referida a la sección inicial S_0.

Ejemplos: $S_0 = 50\ \text{mm}^2$, $F_m = 12000\ \text{N}$, $\Delta L_r = 40\ \text{mm}$

$$\boxed{A = \frac{\Delta L_r}{L_0} \cdot 100\%} = \frac{40\ \text{mm}}{200\ \text{mm}} \cdot 100\% = 20\%$$

$$\boxed{R_m = \frac{F_m}{S_0}} = \frac{12000\ \text{N}}{50\ \text{mm}^2} = 600\ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

ENSAYO DE RESILIENCIA POR FLEXIÓN (DIN 50115)

Se ensaya el comportamiento a la rotura que muestra un material al ser sometido a flexión por golpe en un punto entallado. No se trata por tanto de un ensayo estático, sino dinámico.

El ensayo se realiza en un dispositivo de péndulo que consiste en golpear con un martillo a modo de péndulo en el centro de una probeta apoyada en dos puntos. Después de la percusión, el trabajo realizado se marca en un indicador.

El trabajo de resiliencia es: $\boxed{A_v = F_G(h_1 - h_2)}$ en J

Teniendo en cuenta la sección de ensayo S, se puede calcular la resiliencia, a_k

Ejemplo:

Valores determinados: $F_G = 250\ \text{N}$; $h_1 - h_2 = 0{,}2\ \text{m}$; $S = 1\ \text{cm}^2$

$$a_k = \frac{A_v}{S} = \frac{250\ \text{N} \cdot 0{,}2\ \text{m}}{1\ \text{cm}^2} = 50\ \frac{\text{J}}{\text{cm}^2}$$

Los ensayos de resiliencia por flexión se realizan desde el acero hasta el acero moldeado para determinar la tenacidad y deformabili-

dad, calcular el envejecimiento y controlar los procesos de tratamiento térmico. Los materiales tenaces exigen un elevado trabajo de resiliencia y los frágiles uno pequeño.

ENSAYO DE DUREZA

La dureza de un material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro.

La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. Como indicador de dureza se emplea la deformación permanente (plástica).

Ensayos con plastilina:

El cuerpo de penetración cónico se hace actuar sobre una probeta de plastilina con una fuerza de unos 10 N.

A La posición de la aguja está en 100.
B La posición de la aguja está en 0. La distancia desde 0 a 100 está subdividida en 100 partes iguales.
C El material semiduro es el 60% más duro que el blando, o el 40% más blando que la probeta de plastilina dura. El número de **comparación de dureza** es 60.

Ensayo de dureza Brinell, símbolo HB

Se comprime una bola de acero templada, de diámetro $D = 2{,}5$, 5 o 10 mm contra el material a ensayar con una fuerza F. Después de liberar la carga se mide el diámetro d de la huella con un dispositivo amplificador óptico. La dureza Brinell es un valor adimensional resultante de:

$$HB = \frac{0{,}102 \cdot F}{A}$$

F = valor numérico de la fuerza N
A = valor numérico de la superficie de la huella en mm²

La fuerza de ensayo debe tomarse de magnitud tal que se forme una huella con un diámetro $d = 0{,}2 \cdot D$ a $d = 0{,}7\ D$. Para materiales blandos y bolas de ensayo pequeñas, la fuerza de ensayo debe ser menor. Se calcula partiendo del grado de carga y del diámetro de la bola.

a = grado de carga
D = diámetro de la bola en mm

$$F = \frac{a \cdot D^2}{0{,}102}$$

El grado de carga para el acero no templado y el hierro fundido es $a = 30$; para los metales no férreos y sus aleaciones, $a = 10$; para el aluminio y el cinc, $a = 5$; para los metales de cojinetes, $a = 2{,}5$; para el plomo y el estaño, $a = 1{,}25$.

Ejemplo:

Ensayo de dureza de una aleación de cobre y cinc. Bola de ensayo $D = 5$ mm, grado de carga $a = 10$, tiempo de actuación 30 s. Como fuerza de ensayo se calcula $F = 2451$ N.

Si el diámetro de la huella es de $d = 1{,}6$ mm, esto corresponde a un número de dureza Brinell de 121, según la tabla o por cálculo. Forma de expresarlo: 121 HB 5/250/30.

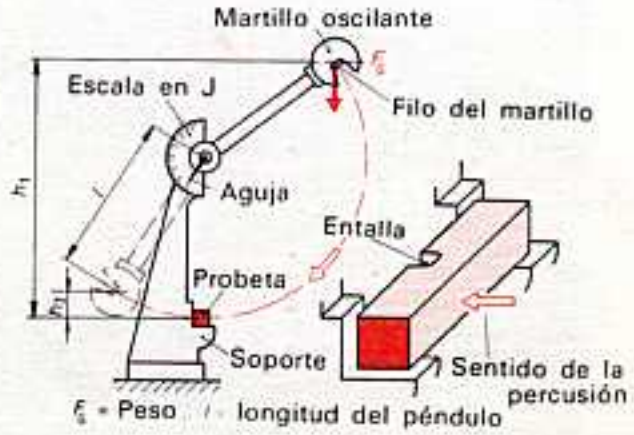


Figura 2-157. Ensayo de resiliencia por flexión.

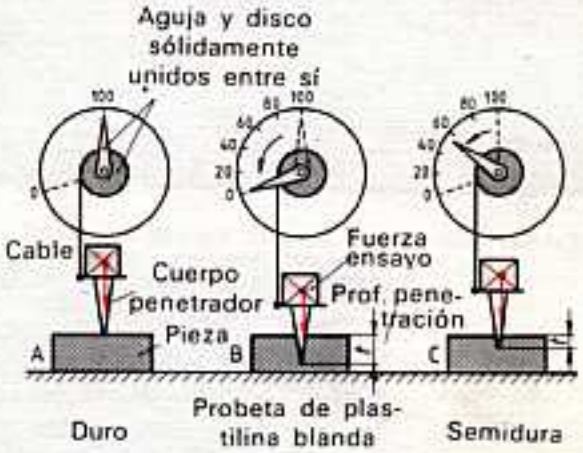


Figura 2-158. La dureza de un material se determina por medio de números comparativos.

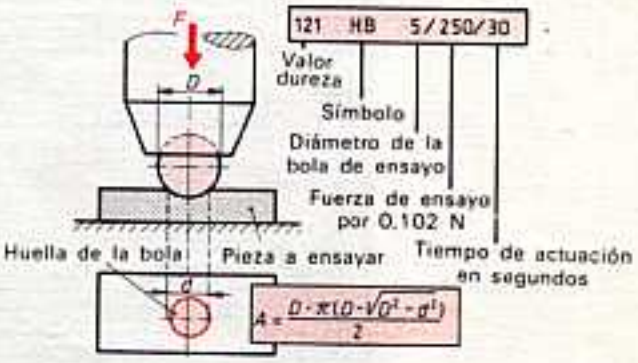


Figura 2-159. Ensayo de dureza Brinell.

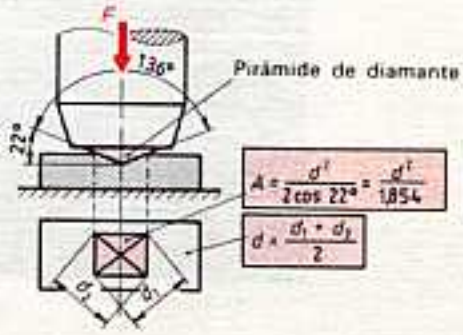


Figura 2-160. Ensayo de dureza Vickers.

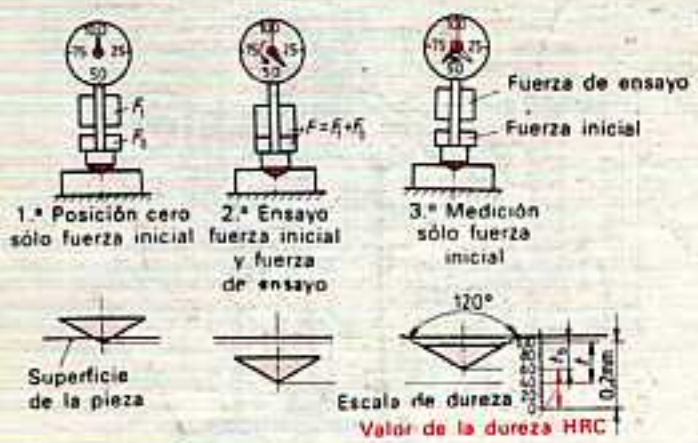


Figura 2-161. Ensayo de dureza Rockwell.



Figura 2-162. Indicación de una dureza Rockwell.

Ensayo de dureza Vickers, símbolo HV

En este caso se emplea como cuerpo de penetración una pirámide cuadrangular de diamante. La huella, vista desde arriba, es un cuadrado. El procedimiento es apropiado para aceros nitrurados y cementados en su capa externa, así como para piezas de paredes delgadas, de acero o metales no férreos.

La dureza Vickers HV se calcula partiendo de la fuerza F (en N) y de la superficie A (en mm²) de la huella de la pirámide, según la fórmula:

$$HV = \frac{0{,}102 \cdot \text{Fuerza } F}{\text{Superficie huella A}}; \quad HV = 0{,}189 \cdot \frac{F}{d^2}$$

La diagonal d es el valor medio de las diagonales de la huella d_1 y d_2.

Ejemplo:
Una huella de ensayo con el valor medio de la diagonal $d = 0{,}44$ mm, con una fuerza de ensayo $F = 490$ N da una dureza Vickers de 478. Tiempo de compresión 30 s.

Según DIN 50133 la simbolización es: 478 HV 50/30. Significando: 478 = dureza Vickers; 50 = valor numérico de la fuerza en N dividida por 0,102, o sea 50:0,102 N = 490 N; duración de la compresión 30 s.

Ensayo de dureza Rockwell, símbolo HR

Para verificar **aceros templados**, el cuerpo de penetración es un cono de diamante de 120 grados. El símbolo del procedimiento es HRC (véase figura 2-162).

El cono de diamante se comprime en primer lugar con una fuerza inicial $F_0 = 98$ N sobre una superficie plana y lisa.

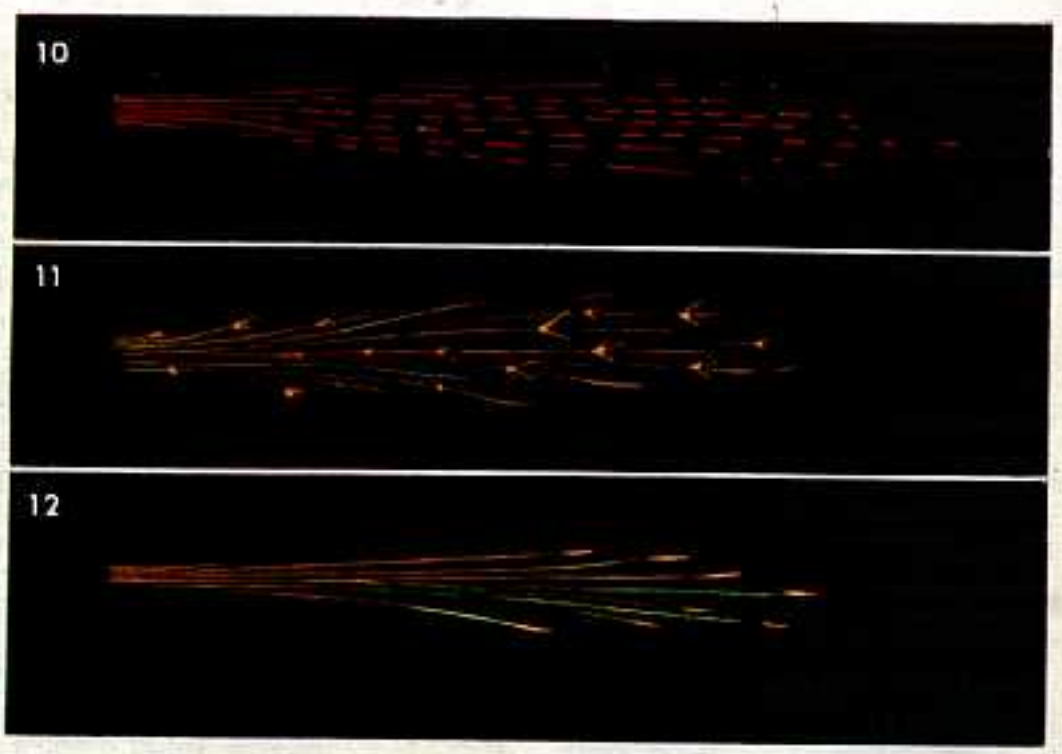
A continuación se pone el reloj comparador en la marca 100. Después se carga el cono con una fuerza adicional $F_1 = 1371$ N, sin choque. Al cesar la fuerza queda una profundidad de huella permanente t_b. En el comparador puede leerse el valor de la dureza.

Se toma HRC = 0 cuando la profundidad de impresión es 0,2 mm. El valor de la dureza es HRC = 100 cuando la profundidad es 0 mm. Luego, cada 0,002 mm son una unidad Rockwell. Si el cono ha penetrado por ejemplo $t_b = 0{,}08$ mm, entonces resulta $0{,}2 - 0{,}08 = 0.12$; $0.12 : 0{,}002$ mm = 60 HRC.

ENSAYO DE LA CHISPA DE ESMERILADO

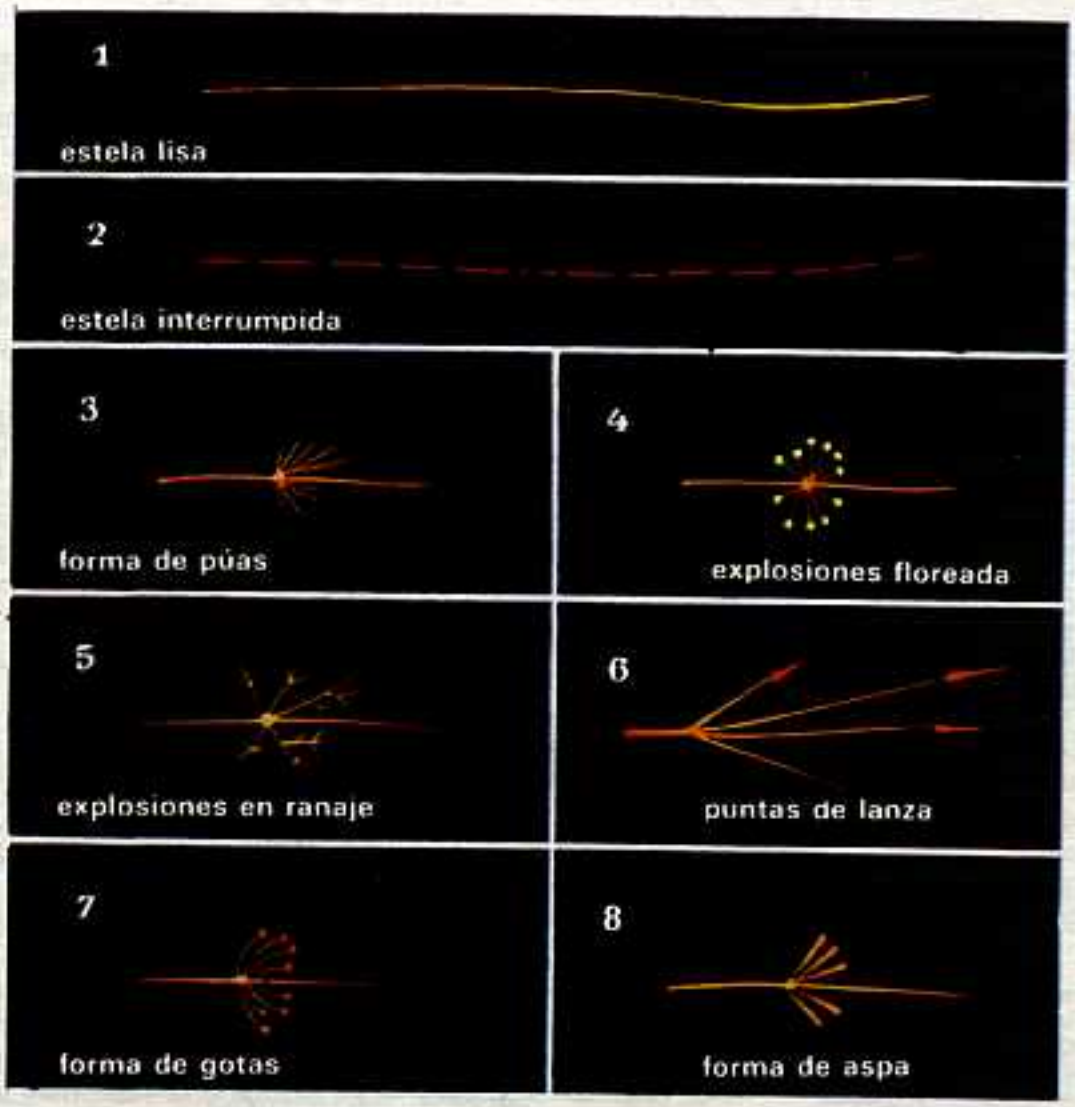
Si se acerca una probeta de acero a una muela de esmeril en movimiento, los granos de la muela arrancan pequeñas partículas de acero, calentándolas hasta la temperatura de fusión. Las partículas incandescentes proyectadas dejan tras de sí, en función de la presión ejercida y la composición de la probeta, una estela corta o larga, continua o interrumpida (estela principal), véanse las figuras 1 y 2 (chispas características). Varias de estas estelas forman conjuntamente un haz de chispas. Debido a la alta temperatura de las partículas emitidas, se quema el hierro y los acompañantes del mismo, en particular el carbono, el silicio y el manganeso, con ayuda del oxígeno del aire. Puesto que los productos de la oxidación del carbono, CO o CO_2, son gases, las partículas saltan a una determinada distancia de la muela, con fenómenos explosivos, formándose nuevas estelas que se extienden en todas direcciones desde los centros de explosión (figuras 3 a 8 del cuadro de chispas características). La frecuencia de esta descomposición y la forma de las estelas depende de la composición del acero. Se distinguen las formas de púas, floreada, de aspa, de gotas y de lanza.

Las probetas templadas dan generalmente una chispa algo más clara y viva que las mismas probetas en estado recocido o bonificado. La presión ejercida influye en la longitud y densidad del haz de chispas y en la frecuencia de la descomposición.



Con autorización de Edelstahlwerke GmbH, Krefeld.

Chispas características



contenido mayor de carbono aumentan las explosiones de C unidas a una ramificación lateral del haz de chispas.

2. En los aceros para herramientas aleados, la chispa varía según los componentes de aleación. Los aceros para herramientas aleados generan ondulaciones claras en la estela base.

Los aceros para herramientas aleados con molibdeno producen estelas terminadas en punta de lanza. El acero aleado con cromo y vanadio da estelas interrumpidas con chispas terminadas en forma de lenguas. Los aceros rápidos producen haces de trazos casi sin explosiones de C.

El material a ensayar puede determinarse mejor si al mismo tiempo, o poco después, se esmerila un acero cuya composición sea la misma y se compara con la probeta.

Aclaraciones sobre las imágenes 1 a 12 del cuadro en color de chispas obtenidas por esmerilado.

Designación	Aleación en %	Color de la estela	Forma
1 Acero de cementación	0,15 C	amarillo blanco	estela lisa, pocas explosiones de C en forma de púas.
2 Acero de herramientas no aleado	0,5 C	amarillo blanco	como 1 más púas
3 Acero de herramientas no aleado	1 C	amarillo blanco	muchas explosiones de C, empezando a los pies del haz, muy ramificada
4 Acero de herramientas aleado con Mn y Si	0,55 C 1,0 Si 1,0 Mn	amarillo	explosiones de C igual que en 2; antes de las explosiones ondulaciones claras en la estela base y muchas ramificaciones laterales pequeñas.
5 Acero de herramientas aleado con Mo	0,5 C 1,4 Cr 0,7 Mo 0,3 V	amarillo anaranjado	semejante a 2, pero se ve que las estelas terminan en puntas de lanza.
6 Acero de herramientas aleado con Cr y W	1 C 1 Mn 1 Cr 1,2 W	rojizo anaranjado	estelas muy finas, chispas vivas, estelas acabadas en forma de lengua.
7 Acero de herramientas aleado con Cr, W y Si	0,5 C 1,0 Si 1,2 Cr 2,0 W	rojo anaranjado	pocas explosiones de C finas, con aspas largas y claras.
8 Acero de herramientas de alta aleación de Cr	2 C 12 Cr 0,8 W	rojo anaranjado	haces cortos, recocido con pocas explosiones claras de C, y templado con muchas.
9 Acero rápido	0,9 C 4 Cr 2,6 Mo 2,5 V 3,0 W	rojo anaranjado	estelas lisas a trazos, casi sin explosiones de C.
10 Acero rápido	0,75 C 4 Cr 18 W 1 V	rojo	haces de chispas a trazos, sin explosiones de C
11 Acero inoxidable	0,4 C 14 Cr	anaranjado	haces cortos con explosiones de C en forma de púas.
12 Acero resistente a los ácidos	0,1 C 18 Cr 8 Ni	amarillo anaranjado	estelas lisas sin explosiones de C.



Figura 2-163. Evaluación de imágenes de chispas de esmerilado.

2.9.2 Otros procedimientos

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO METALOGRÁFICO

Por ensayo metalográfico se entiende la obtención y valoración de micrografías. Las probetas de material se rectifican y pulen con el fin de eliminar la rugosidad procedente de la fabricación y poder reconocer fallos del material tales como inclusiones de escoria, óxidos y sulfuros, así como grietas, poros y burbujas de gas.

Si se aplican ácidos a la superficie (soluciones mordientes), se colorean los componentes de la textura o se vuelven rugosos. Bajo la acción de una fuente de luz, las probetas tratadas de esta forma vistas al microscopio muestran diferencias de luminosidad, debido a que los colores o irregularidades reflejan la luz de forma distinta. En cierto modo aparece la imagen de la textura.

Ejemplos:

Por la riqueza en carbono, los contornos oscuros delimitan los componentes de la textura. Una orientación diferente de la retícula cristalina conduce a una rugosidad diferente de la superficie. El diferente ataque del mordiente a los componentes de la textura produce relieves en la superficie. De esta forma se reconocen: límites de los granos y tamaño de los mismos, componentes de aleación, deformación de la cristalita por conformación en frío, formación de grano basto, fallos de carburación e inclusión de gases.

PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO NO DESTRUCTIVOS

Ensayo del polvo magnético. Se emplea para determinar grietas, inclusiones de cuerpos extraños y poros en la superficie o en sus proximidades. Con un aparato magnetizador se crea en la probeta un campo magnético intenso. Como polvo magnético se utiliza polvo de hierro coloreado, que se espolvorea encima de la pieza.

En los puntos donde hay grietas o poros se distorsionan las líneas de fuerza. En estos puntos las líneas de fuerza se desvían, se comprimen y el polvo de hierro se acumula.

Investigaciones con rayos X. Los rayos X y los rayos gamma atraviesan los cuerpos sólidos. La imagen ya sea sobre una pantalla o sobre una placa fotográfica, de los rayos que atraviesan el material, permite ver todos los puntos de fallo, tales como poros, grietas, escoria en los cordones de soldadura.

Investigaciones ultrasónicas. En el ensayo de materiales con ultrasonidos se utilizan ondas ultrasónicas con frecuencias del orden de 10 millones por segundo. Una cabeza emisora transmite las ondas hasta la pieza que se está ensayando. Las ondas se propagan en el material, encuentran una grieta u otro fallo y se produce una reflexión. Un receptor percibe las ondas reflejadas e indica el punto del fallo.

Procedimiento de penetración (DIN 54152). Se emplea para señalar fallos tales como grietas, arrugas, poros y fallos de aglomeración que aparecen a menudo en la superficie de las piezas.

Después de una limpieza previa se aplica el **producto penetrante,** p. ej., un colorante rojo, por rociado o a brocha, sobre la pieza a ensayar. El producto que queda en la superficie de ensayo se elimina mediante un limpiador intermedio (disolvente líquido o en forma de vapor).

Después del lavado intermedio se aplica un **revelador** que aspira hasta la superficie el producto que ha penetrado y que se ha quedado en los puntos con fallos, y que además está fuertemente coloreado, lo cual produce una señal clara y visible.

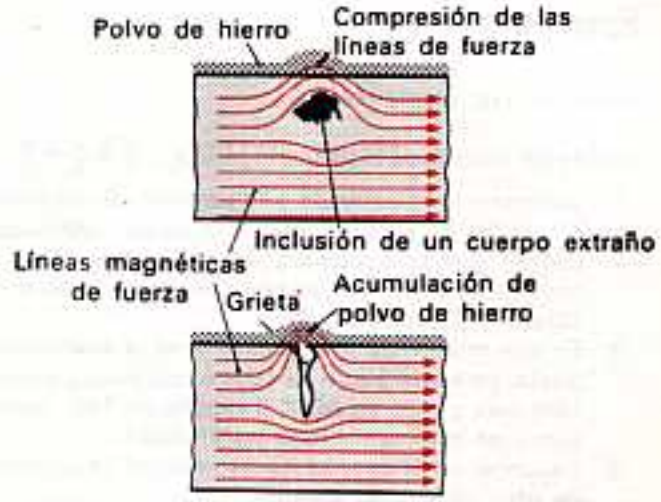


Figura 2-164. Ensayo del polvo magnético.

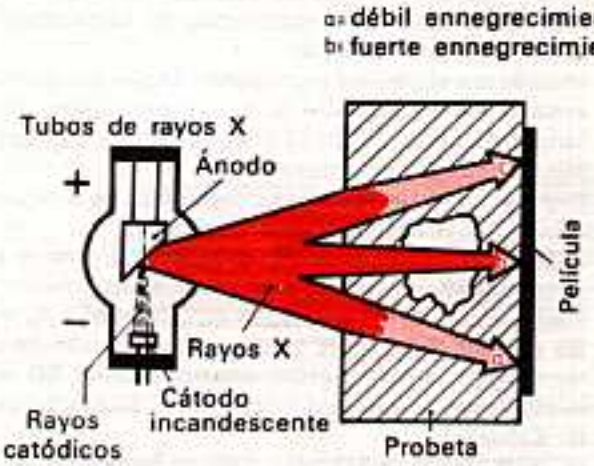


Figura 2-165. Esquema de los rayos X en una pieza con poros.

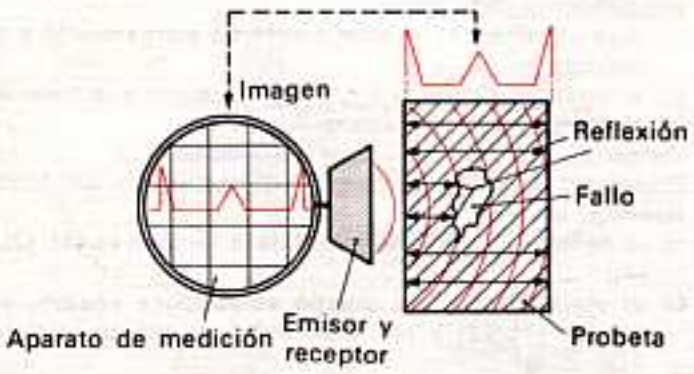


Figura 2-166. Ensayo de ultrasonido (procedimiento del eco).

APLICACIONES DE DIVERSOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE DUREZA

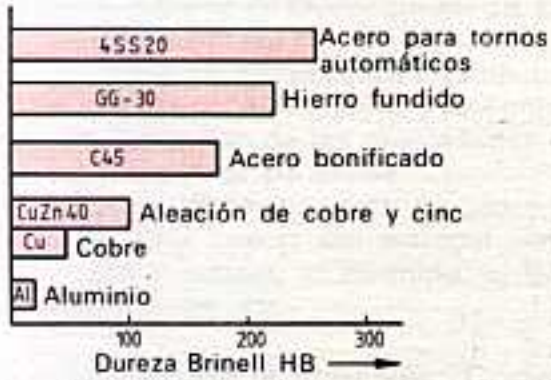


Figura 2-167. Ensayo de dureza Brinell. Aplicación para la determinación de materiales blandos y semiduros, tales como metales ligeros, metales pesados no férreos, fundición y acero recocido y bonificado.



Figura 2-168. Ensayo de dureza Vickers. Aplicación para el ensayo de materiales semiduros y duros, superficies templadas, materiales de estructura uniforme.

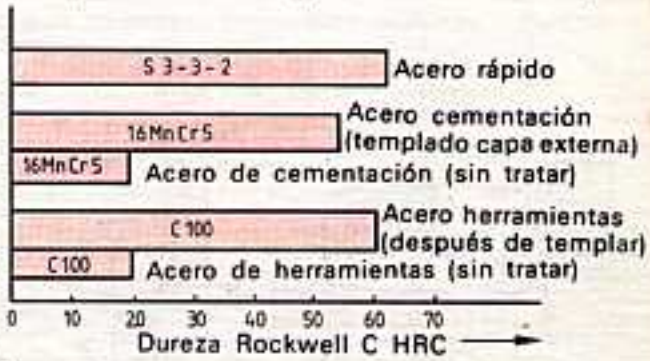


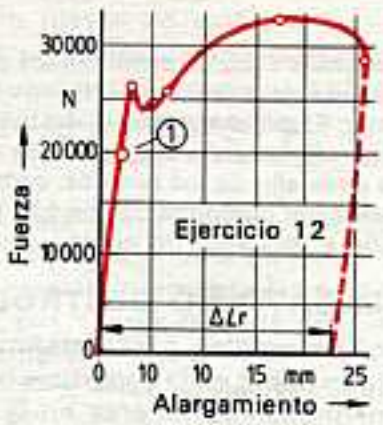
Figura 2-169. Ensayo de dureza Rockwell. Aplicación al ensayo de materiales duros como el acero templado.

Ejercicios

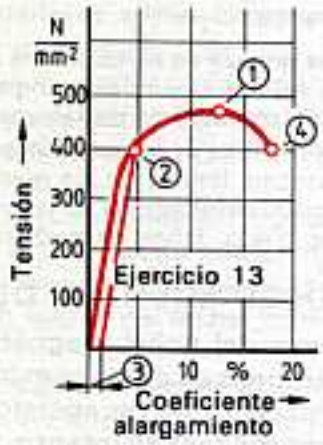
Ensayo de materiales

Ensayos mecánico-tecnológicos

1. Comparar la resistencia a la tracción de un alambre metálico sometido a carga estática y a carga dinámica.
2. ¿Sobre qué propiedades de los materiales pueden sacarse conclusiones con los ensayos de plegado en dos sentidos, de chispa y de rebordeado?
3. En una prueba de abocinado hasta la aparición de la primera grieta, un acero plano de 40 × 6 mm puede ensancharse hasta 100 mm, y otro de 80 × 6 mm hasta 140 mm. Razonar qué acero es más apropiado para forjarlo.
4. Describir las imágenes de las chispas de un acero no aleado y de otro altamente aleado.
5. Indicar si en los materiales para: 1) cinceles, 2) canalones para tejados, 3) chapas para carrocerías de automóviles, 4) cables metálicos, son esenciales la capacidad de plegado, abocinado y embutición.
6. Indicar los símbolos empleados según las normas DIN en un ensayo de resistencia a la tracción para sección inicial, longitud inicial, longitud final, tensión, coeficiente de alargamiento, fuerza de ensayo.
7. Explicar los conceptos de coeficiente de alargamiento, límite elástico y resistencia a la tracción.
8. Explicar las indicaciones: $\sigma = 200$ N/mm² y $\varepsilon = 1{,}5\%$.
9. ¿Qué significan los símbolos de alargamiento ε_e, ε_p, ε_t?
10. Explicar qué datos son $R_m = 400$ N/mm² y $R_e = 230$ N/mm².
11. Se dan los siguientes valores de medición de un ensayo de resistencia a la tracción: sección inicial 50 mm², longitud inicial 40 mm, longitud final 44 mm, fuerza de tracción 21000 N. Calcular:
    a) la tensión de tracción con la fuerza de ensayo dada.
    b) el coeficiente de alargamiento unitario en %.
12. Partiendo de los valores de medición del diagrama fuerza-alargamiento determinar:
    a) para el punto (1), el coeficiente de alargamiento ε con la máxima precisión.
    b) el límite de fluencia R_{eH} y la resistencia a la tracción R_m.
    c) el alargamiento de rotura A.
    Datos: $S_0 = 78{,}5$ mm², $L_0 = 100$ mm.
13. Dado un diagrama de tensión-alargamiento sin límite de fluencia, se pide:
    a) la denominación y magnitud de la tensión en (1), (2), (3) y (4);
    b) el alargamiento del cuerpo sometido a ensayo, en los puntos (1), (2) y (4), con un alargamiento inicial $L_0 = 100$ mm.



Sobre el ejercicio 12



Sobre el ejercicio 13

14. ¿Por qué no pueden cargarse con su resistencia a la tracción R_m las piezas que están en estado de servicio?
15. De un ensayo de resiliencia por flexión se obtienen los siguientes valores: $S = 1$ cm², $F_G = 300$ N, $h_1 - h_2 = 0{,}15$ m. Calcular la resistencia a la resiliencia a_k.
16. ¿Qué indican una a_k baja y alta de un acero?
17. Diferenciar entre dureza y resistencia a la tracción.
18. Analizar los símbolos normalizados HB, HV y HRC.
19. Determinar la fuerza de ensayo y la dureza Brinell HB para el acero dados $D = 5$ mm, $d = 1{,}8$ mm y $a = 30$.
20. Indicar el material y la forma del cuerpo de penetración para: a) ensayo de dureza Brinell, b) ensayo de dureza Vickers, c) ensayo de dureza Rockwell C.
21. Comparar la profundidad de penetración respectiva de las durezas 40 HRC y 60 HRC.
22. Explicar qué significa 150 HB 5/250/30.

Ensayos no destructivos

23. Indicar los procedimientos de ensayo con los cuales se reconocen los siguientes fallos:
    (1) poros en el interior de una pieza de máquina,
    (2) grietas superficiales en una rueda dentada,
    (3) grietas en un cordón de soldadura,
    (4) inclusiones de cuerpos extraños en las proximidades de la superficie de un volante de inercia.
24. Explicar la posibilidad de reconocer el tamaño de los granos y los límites de los mismos en una pieza.
25. Representación del principio del ensayo con polvo magnético.
26. En el procedimiento de penetración se emplean productos de penetración, limpiador intermedio y revelador. Asignar a estos productos la correspondiente función.

3 Técnica de la fabricación

3.1 Procedimientos de fabricación

3.1.1 Subdivisión

FORMACIÓN DE BRUTOS, CONFORMACIÓN, CORTE, UNIÓN, RECUBRIMIENTO, MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

La fabricación de una pieza consiste en modificar una *pieza en bruto*, haciéndola gradualmente desde su estado primitivo al de acabado cambiando su forma o las propiedades del material que la compone. Cuando ya no hay que modificar nada más en la pieza, se la denomina **pieza acabada.**

La subdivisión de los procedimientos de fabricación se deduce de los conceptos de **cohesión**, de las partículas del material y de **unión** entre los elementos componentes.

Obtención de la cohesión: Formación de brutos, obtención de la forma

La formación de brutos consiste en obtener un cuerpo sólido a partir de un material amorfo estableciendo su cohesión. Comprende, entre otras cosas, el moldeo de metales, masas cerámicas y plásticos, el prensado de polvos metálicos seguido de sinterización, el prensado de resinas sintéticas, el dar forma a las piezas por medio de depósitos electrolíticos, etc.

Conservación de la cohesión: Conformación, transposición de partículas

Conformar es fabricar mediante la modificación por ductilidad (plástica) de la forma de un cuerpo sólido. Comprende, entre otras cosas, la conformación por presión (extrusión, forja, laminado), la conformación por compresión-tracción (embutición, trefilado), la conformación por tracción (estirado) y la conformación por plegado.

Modificación de las propiedades del material por medio de la transposición de partículas.

Comprende, entre otros, los procedimientos en que se modifica la estructura interna del material como, por ejemplo, el endurecimiento o temple, el revenido, el laminado de compactación, la magnetización, etc.

Reducción de la cohesión: Corte, separación de partículas

Cortar es fabricar modificando la forma de un cuerpo sólido reduciendo la cohesión. Hay que distinguir entre **división**, o sea, separación total, entallado, hendido y rotura, **arranque de virutas**, es decir,

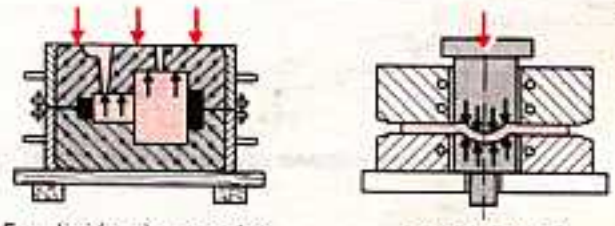


Figura 3-1. Formación de brutos.

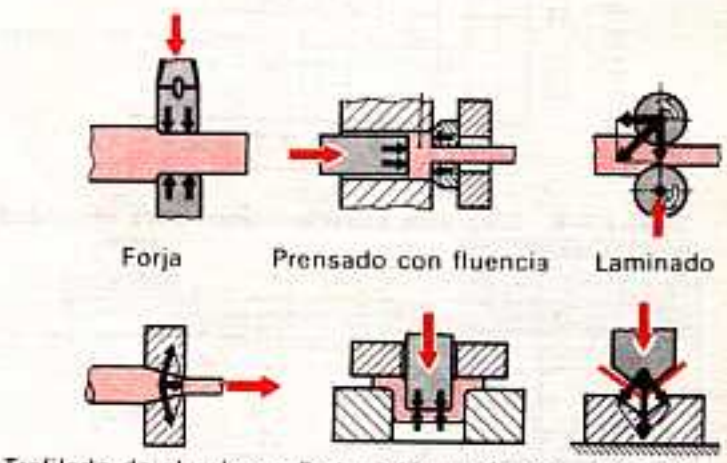


Figura 3-2. Conformación.

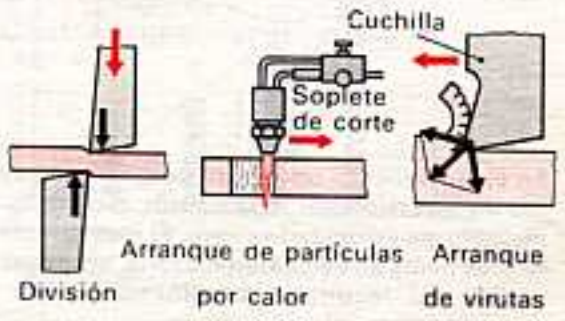


Figura 3-3. Corte.

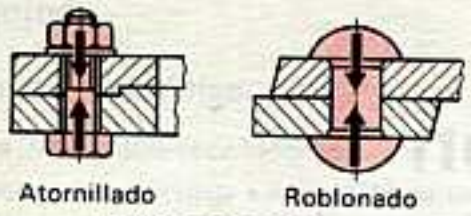


Figura 3-4. Unión.

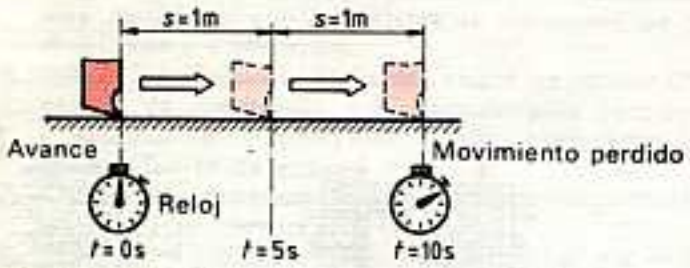


Figura 3-5. Movimiento rectilíneo con velocidad constante.

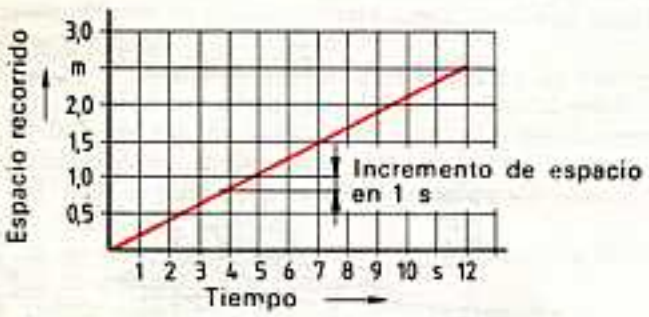
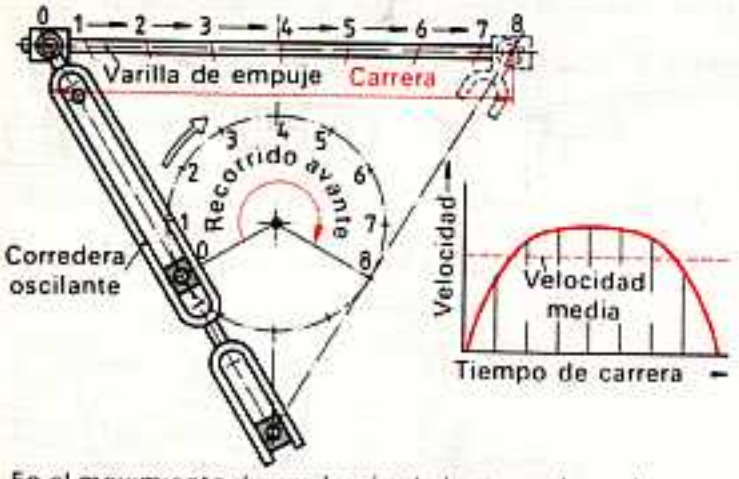


Figura 3-6. Diagrama espacio-tiempo para velocidad constante.



En el movimiento de oscilación de la manivela, en los puntos de inversión del movimiento el carro queda parado un instante, su velocidad es cero. El movimiento se acelera entonces hasta su velocidad máxima, aproximadamente en el centro del recorrido; a continuación se retarda hasta pararse.

Figura 3-7. Movimiento rectilíneo con velocidad variable.

separación de partículas del material (virutas) por medios mecánicos, como en el torneado, taladrado, rectificado, limado y aserrado; arranque de partículas por medios térmicos, como, el oxícorte; el desmontaje de piezas antes unidas como, por ejemplo, el desatornillado y el desmontaje por presión, la limpieza de piezas por medios tales como el cepillado, el chorro de arena, el lavado y el decapado. Comprende también **la separación de partículas del material** como, por ejemplo, la descarburación del acero.

Aumento de la cohesión: Unión, agregación de partículas al material, recubrimiento

Unir es juntar piezas por yuxtaposición (inserción, enganche), por ajuste y engarce (enchavetado, atornillado, contracción), por formación de brutos (unión por prensado), por conformación (rebordeado, solape, roblonado) o por unión entre los materiales (soldadura, soldadura blanda,, pegado).

La **agregación de partículas al material**, por ejemplo, nitrógeno, modifica sus propiedades.

El **recubrimiento** consiste en aplicar a la pieza que se trabaja una capa de material adherente (aplicación de material por pintura, vaporización, soldura de recargue, galvanización, proyección térmica, etc.).

3.1.2 Fundamentos físicos

FUERZA Y MOVIMIENTO

Para cortar o conformar una pieza se necesitan fuerzas capaces de vencer la resistencia que opone el material, por ejemplo, al cincel, la sierra, la lima o la broca. Las fuerzas también son absorbidas por las herramientas y por los dispositivos de sujeción. Muchos de los procedimientos de fabricación implican también movimientos como, por ejemplo, tornear, aserrar, fresar o taladrar.

La unidad de fuerza es el newton (N). Para explicar esta unidad hay que conocer los conceptos de masa, velocidad y aceleración.

Movimiento rectilíneo con velocidad constante

Si un cuerpo recorre espacios iguales en tiempos iguales, su movimiento se llama **uniforme.** Este tipo de movimiento es el que efectúan, por ejemplo, todos los dispositivos de avance de las máquinas-herramientas.

Ejemplo de dos movimientos:
1. Espacio recorrido: tiempo
2. Espacio recorrido tiempo

La velocidad caracteriza la «rapidez» de un movimiento.

La velocidad (v) de un cuerpo representa el espacio recorrido (s) durante el tiempo (t)

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{espacio recorrido}}{\text{tiempo empleado}} \qquad v = \frac{s}{t}$$

Cálculos:

$$v_1=\frac{s_1}{t_1};\quad v_1=\frac{2\text{ m}}{10\text{ s}}=0{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}};\quad v_2=\frac{2\text{ m}}{20\text{ s}}=0{,}1\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Unidades de velocidad

La unidad de velocidad es el metro/segundo (m/s); otras unidades son: kilómeto/hora (km/h); metro/minuto (m/min), kilómetro/segundo (km/s). He aquí algunos ejemplos de velocidades: velocidad de corte al tornear v = 40 m/min, velocidad instantánea de un vehículo v = 80 km/h, velocidad de la luz = 300 000 km/s.

Movimiento rectilíneo con velocidad variable

Un movimiento no es uniforme cuando la velocidad aumenta o disminuye. Aparecen movimientos no uniformes en los movimientos de vaivén (herramienta de una máquina mortajadora, pistón de un motor de explosión, émbolo de un accionamiento hidráulico).

Movimiento rectilíneo acelerado de un cuerpo

Si la velocidad aumenta, se produce una aceleración, si se reduce, el cuerpo se retarda.

Evaluación de una serie de ensayos:

Tenemos:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{0{,}5\text{ m/s}}{1\text{ s}}=\frac{1{,}0\text{ m/s}}{2\text{ s}}=\frac{1{,}5\text{ m/s}}{3\text{ s}}=0{,}5\,\frac{\text{m/s}}{\text{s}}=0{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Se tiene un movimiento uniformemente acelerado o retardado cuando la velocidad conserva su dirección y sentido y se mantiene constante la relación entre la variación de la velocidad y el intervalo de tiempo necesario para ella. A esa relación se le denomina aceleración (símbolo a, o desaceleración $-a$).

$$\text{Aceleración} = \frac{\text{Variación de la velocidad}}{\text{Tiempo}}$$

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

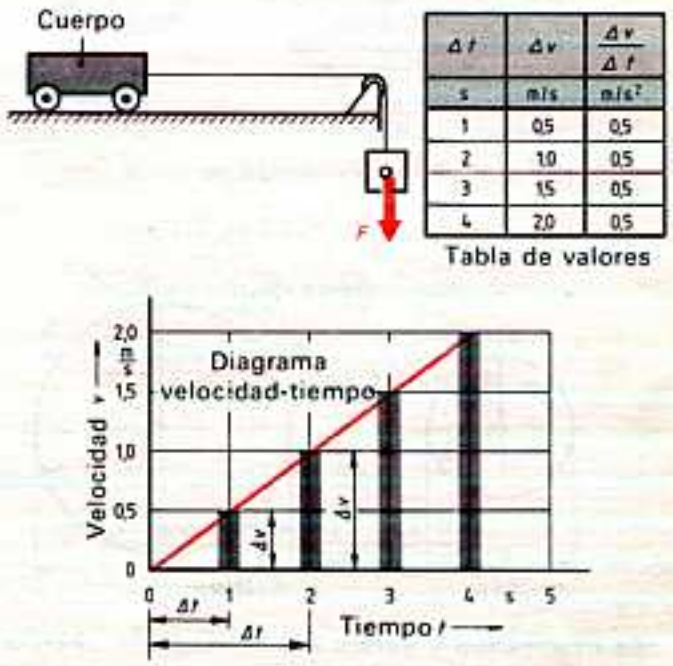
Ejemplos de aceleraciones medias:
Arranque de un automóvil $a = 3\ \text{m/s}^2$, vehículo espacial en el despegue $a = 100\ \text{m/s}^2$, disparo de un proyectil $a = 400\,000\ \text{m/s}^2$.

Cálculo: Un vehículo tiene una velocidad instantánea $v_1 = 10$ m/s, $t_1 = 4$ s; al cabo de $t_2 = 12$ s su velocidad es $v_2 = 14$ m/s. Determinar la aceleración a.

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t};\quad a=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\frac{14\text{ m/s}-10\text{ m/s}}{12\text{ s}-4\text{ s}}=0{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Si se consideran movimientos que parten del estado de reposo, resulta $t_1 = 0$ s y $s_1 = 0$ m, por lo que las fórmulas se simplifican así:

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\frac{v_2-0}{t_2-0};\quad \boxed{a=\frac{v}{t}}$$



Δt	Δv	$\frac{\Delta v}{\Delta t}$
s	m/s	m/s²
1	0,5	0,5
2	1,0	0,5
3	1,5	0,5
4	2,0	0,5

Tabla de valores

Figura 3-8. Movimiento rectilíneo acelerado.



s	v	a	t
m	$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{s^2}$	s

$s=\frac{1}{2}\cdot v\cdot t$

$s=\frac{1}{2}\cdot 2\frac{m}{s}\cdot 4\,s$

$s=4\,m$



Figura 3-10. Velocidad de caída y recorrido de caída.

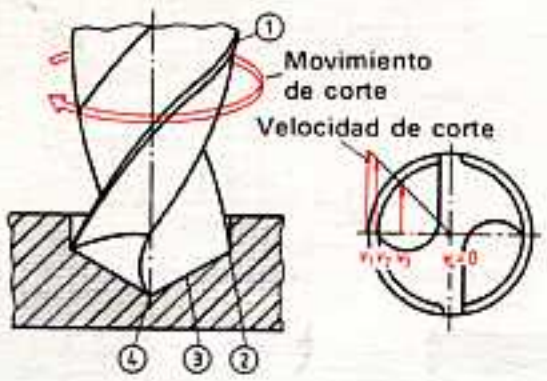


Figura 3-11. Velocidad de corte.

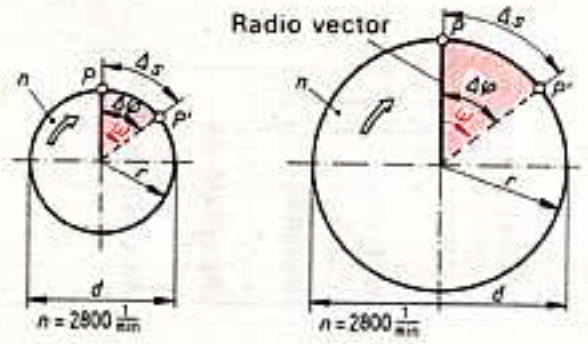


Figura 3-12. La velocidad angular es independiente del diámetro.

Espacio recorrido con movimiento uniformemente acelerado

Un movimiento uniformemente acelerado puede representarse en un diagrama $v-t$ por una recta ascendente. La superficie del triángulo formado sobre la abscisa equivale al espacio recorrido.

Superficie del triángulo = $^1/_2$ (Base · Altura)

$$\boxed{s=\frac{1}{2}\cdot v\cdot t} \quad \text{o bien} \quad \boxed{s=\frac{1}{2}\cdot a\cdot t^2}$$

Caída libre

La experiencia nos dice que todos los cuerpos sometidos al campo gravitatorio terrestre se dirigen con un movimiento acelerado hacia el centro de la Tierra. El movimiento se denomina «caída libre». La aceleración es la aceleración de la gravedad g. Su valor medio es $g = 9{,}81\ m/s^2 \approx 10\ m/s^2$.

La caída libre es un movimiento uniformemente acelerado. Por esa razón le son aplicables las leyes del movimiento horizontal uniformemente acelerado.

$$\boxed{v=g\cdot t} \qquad \boxed{h=\frac{1}{2}g\cdot t^2}$$

Ejemplo:
El tiempo que dura la caída de un cuerpo es de 4 s. ¿Cuáles son la velocidad final y la altura de caída?

$$v=g\cdot t;\ v=9{,}81\ m/s^2\cdot 4\ s=39{,}2\ m/s$$

$$h=\frac{1}{2}\cdot g\cdot t^2;\ h=\frac{1}{2}\cdot 9{,}81\ \frac{m}{s^2}\cdot 4^2\ s^2=78{,}5\ m$$

Movimiento circular uniforme

Observación: Al taladrar, la broca helicoidal realiza un movimiento de corte circular. A igual número de revoluciones, la velocidad de corte depende del diámetro de la broca y decrece, tendiendo a cero, hacia el centro de la sección transversal.

Número de revoluciones n

En la placa de características de un motor se indica, entre otros datos, el número de revoluciones (frecuencia de giro), por ejemplo, $n = 2800$ rpm. Se trata del número z de revoluciones realizadas en un minuto.

$$\text{Número de revoluciones} = \frac{\text{Número de giros}}{\text{Tiempo correspondiente}} \qquad \boxed{n=\frac{z}{\Delta t}}$$

Velocidad angular

Un trazo radial de tiza sobre un disco giratorio (un «radio vector») barre en tiempos iguales Δt los mismos ángulos de giro $\Delta\varphi$ (φ = phi). Análogamente a $v = \Delta s/\Delta t$, se denomina velocidad angular ω (ω = omega) a la relación entre el ángulo de giro y el tiempo invertido:

$$\text{Velocidad angular} = \frac{\text{Ángulo de giro}}{\text{Tiempo correspondiente}} \qquad \boxed{\omega=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}}$$

El ángulo de giro no se mide en grados, sino en medidas de arco o «radianes». Se obtiene la medida en radianes de un ángulo dividiendo la longitud del arco Δs por el radio r.

$$\boxed{\Delta\varphi=\frac{\Delta s}{r}}$$

Ejemplo:

$$\Delta s = 4\ \text{m},\ r = 0{,}5\ \text{m},\quad \Delta\varphi = \frac{4\ \text{m}}{0{,}5\ \text{m}} = 8\,\frac{\text{m}}{\text{m}} = 8\ \text{rad}$$

La unidad m/m da 1. Para saber que se trata de un ángulo, en lugar de escribir 1 se escribe rad (radián).

El ángulo total (360°) tiene la medida en arco $\Delta\varphi = \dfrac{2\cdot\pi\cdot r}{r} = 2\pi$, y para z revoluciones se obtiene $\Delta\varphi = 2\cdot\pi\cdot z$.

Por lo tanto, la velocidad angular se expresará así:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\cdot\pi\cdot z}{\Delta t};\qquad \boxed{\omega = 2\cdot\pi\cdot n}$$

n	ω
1/min	rad/min

Ejemplo:

Dos discos de distinto diámetro, no importa cuales sean, poseen la misma velocidad angular si giran al mismo número de revoluciones.

Ejemplo: Determinar la velocidad en radianes de un disco que gira a 2800 rpm

$$\omega = 2\,\pi\cdot 2800\,\frac{1}{\text{min}} = 17584\,\frac{\text{rad}}{\text{min}} = 293\,\frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Velocidad periférica

La velocidad de un punto P de la circunferencia se denomina velocidad periférica v. Esta velocidad es, en cada instante, tangencial a la circunferencia y depende del radio.

Para el cálculo se utiliza la misma ecuación fundamental $v = \Delta s/\Delta t$, en la que, para z revoluciones se tiene:

$$\Delta s = 2\,\pi\cdot r\cdot z$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\,\pi\cdot r\cdot z}{\Delta t} \qquad \boxed{v = d\cdot\pi\cdot n}$$

y como $\omega = 2\pi\cdot n$, resulta $\boxed{v = \omega\cdot r}$

Variaciones del número de revoluciones

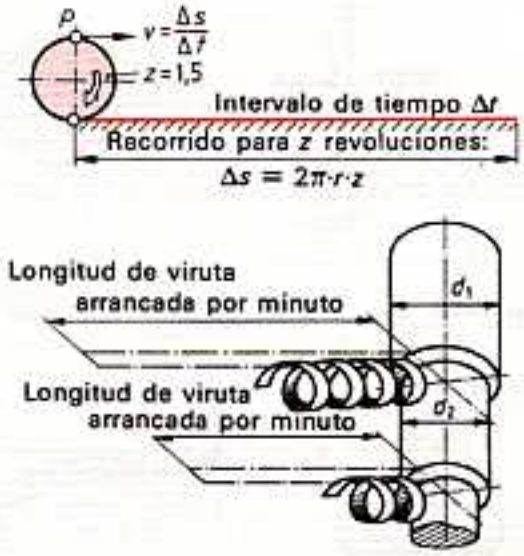
La transmisión por correas y la transmisión por engranajes de distinto diámetro o de distinto número de dientes entre la rueda propulsora y la rueda arrastrada permiten cambiar el número de revoluciones. Las correas planas y trapeciales transmiten el movimiento de giro por arrastre, los engranajes lo hacen por empuje. Por esa razón son iguales las velocidades periféricas de las dos ruedas, propulsora y arrastrada. Si los diámetros de dos ruedas son d_1 y d_2 (en las ruedas dentadas son los diámetros de los círculos primitivos), n_1 y n_2 sus respectivos números de revoluciones, y z_1 y z_2 sus respectivos números de dientes, se tiene:

$$v_1 = v_2$$

$$d_1\cdot\pi\cdot n_1 = d_2\cdot\pi\cdot n_2$$

$$\boxed{d_1\cdot n_1 = d_2\cdot n_2} \quad \text{o bien} \quad \boxed{z_1\cdot n_1 = z_2\cdot n_2}$$

La rueda más pequeña, que tiene el número de dientes menor tiene el mayor número de revoluciones; la rueda más grande, cuyo número de dientes es mayor, tiene menor número de revoluciones.



Ejemplo: $d_1 = 40$ mm, $d_2 = 30$ mm

$$n = 320\,\frac{1}{\text{min}}$$

$$\omega = 2\,\pi\cdot n = 2\,\pi\cdot 320\,\frac{1}{\text{min}}$$

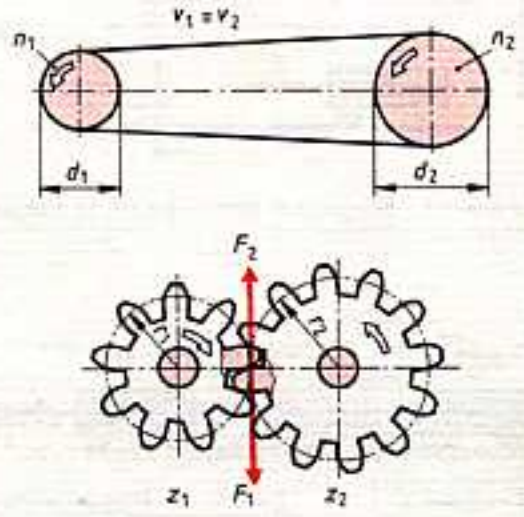
$$\omega = 2010\,\frac{\text{rad}}{\text{min}}$$

$$v = d\cdot\pi\cdot n$$

$$v_1 = 0{,}04\ \text{m}\cdot\pi\cdot 320\,\frac{1}{\text{min}} = 40{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$v_2 = 0{,}03\ \text{m}\cdot\pi\cdot 320\,\frac{1}{\text{min}} = 30{,}1\,\frac{\text{m}}{\text{min}}$$

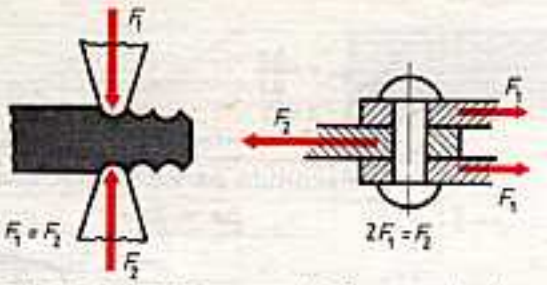
Figura 3-13. La velocidad lineal depende del diámetro.



Ejemplo: $z_1 = 9$, $z_2 = 12$, $n_1 = 200\,\dfrac{1}{\text{min}}$

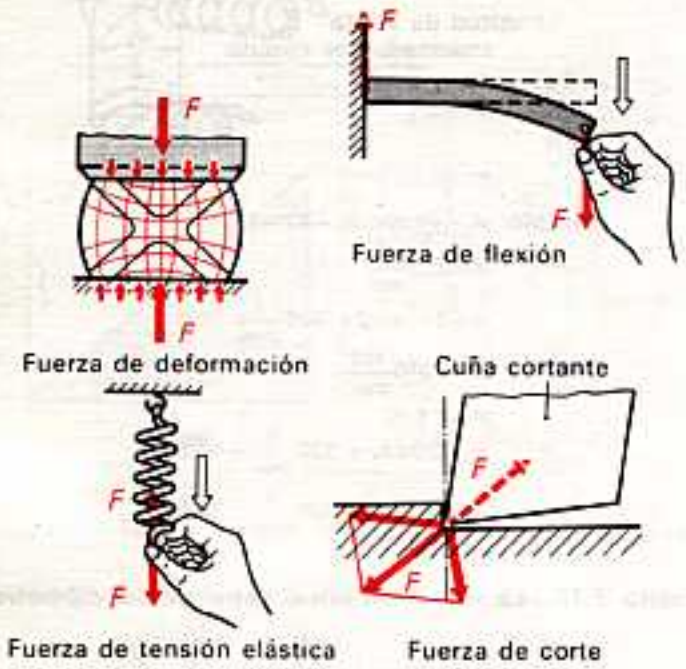
$$n_2 = \frac{z_1\cdot n_1}{z_2} = \frac{9\cdot 200}{12}\,\frac{1}{\text{min}} = 150\,\frac{1}{\text{min}}$$

Figura 3-14. Transmisión por correa y transmisión por engranajes.



Forja sin estampa — Unión remachada

Figura 3-15. Ley de la acción y la reacción de las fuerzas.



Fuerza de deformación — Fuerza de flexión

Cuña cortante

Fuerza de tensión elástica — Fuerza de corte

Figura 3-16. Efectos de las fuerzas.

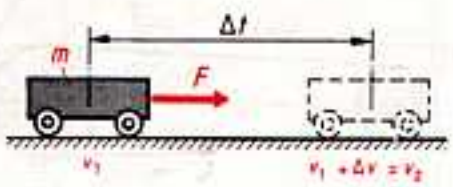


Figura 3-17. Magnitud dinámica de la fuerza.



Estado de reposo 1
$v_1 = 0\ \frac{m}{s}$
$t_1 = 0\ s$

Estado de movimiento 2
$v_2 = 1\ \frac{m}{s}$
$t_2 = 1\ s$

Aceleración ②
$a = \frac{v}{t} = 1\ \frac{m}{s}$
$a = 1\ \frac{m}{s^2}$

Figura 3-18. Fuerza de aceleración de 1 N.

Ley de la acción y la reacción

Si una fuerza actúa sobre un cuerpo en reposo, se obtiene siempre una fuerza de igual magnitud pero que actúa en sentido contrario.

Ejemplos:

En la forja sin estampa (a golpe de martillo), a la fuerza del martillo F_1 se le opone una reacción F_2 de igual magnitud.

En una unión roblonada acúan en el remache fuerzas iguales y opuestas. Por esta razón está solicitado a cortadura.

La unidad de fuerza es el Newton [1] (N)

La magnitud física **fuerza** (símbolo *F*) sólo puede reconocerse y medirse por sus efectos. Estos efectos pueden ser, por ejemplo, deformaciones de los materiales (fuerzas de deformación al prensar, forjar o estampar), deformaciones por flexión (plegado, doblado), tensiones de muelles (fuerza de tensión del muelle), corte de materiales (fuerzas de corte al aserrar, limar, tornear, fresar o taladrar). También son efectos de fuerzas todas las variaciones del movimiento de un cuerpo (fuerzas de aceleración en el arranque, o de desaceleración al frenar algún elemento de una máquina).

Ensayo: Un cuerpo de masa $m = 2$ kg se mueve sin rozamiento con la velocidad $v_1 = 2$ m/s. En el instante $\Delta t = 4$ s actúa una fuerza *F* que aumenta la velocidad a $v_2 = 4$ m/s. La variación de la velocidad es $\Delta v = 2$ m/s.

Para determinar la fuerza de aceleración nos valemos del razonamiento siguiente:

a) El producto de la masa por la velocidad se denomina «cantidad de movimiento» (impulso). Se tiene:

$$m \cdot v_1 = 2\ \text{kg} \cdot 2\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4\ \frac{\text{kg m}}{\text{s}}; \quad m \cdot v_2 - m \cdot v_1 = m \cdot \Delta v$$

$$m \cdot v_2 = 2\ \text{kg} \cdot 4\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8\ \frac{\text{kg m}}{\text{s}}; \qquad m \cdot \Delta v = 4\ \frac{\text{kg m}}{\text{s}}$$

b) La acción exterior necesaria para modificar la cantidad de movimiento de un cuerpo se denomina fuerza. Es la relación entre la variación de la cantidad de movimiento y el intervalo de tiempo en que se produce esta variación.

$$F = \frac{m \cdot \Delta v}{\Delta t} = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}; \quad F = m \cdot a$$

La fuerza *F* que actúa sobre un cuerpo de masa *m* es igual al producto de la masa *m* por la aceleración comunicada *a*.

Fuerza = Masa · Aceleración $F = m \cdot a$

Cálculo:

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}; \quad F = 2\ \text{kg} \cdot \frac{2\ \text{m/s}}{4\ \text{s}} = 1\ \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = 1\ \text{N}$$

Unidad: F en $\frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = \text{N}$

[1] Isaac Newton, físico inglés (1643-1727).

Una fuerza tiene la magnitud de 1 N cuando, aplicada a una masa de 1 kg le produce una aceleración de 1 m/s^2.

COMPOSICIÓN Y DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS

Representación gráfica de una fuerza

Una fuerza se representa gráficamente por medio de una flecha.

Ejercicio: Hay que dibujar una fuerza de 40 N, aplicada en A y que actúa hacia la derecha. Escala de fuerzas: 1 cm = 10 N.

La flecha que representa una fuerza indica la magnitud, la dirección, el sentido y el punto de aplicación de la fuerza.

Fuerzas que actúan sobre una misma línea de acción

Si varias fuerzas actúan simultáneamente sobre una línea de acción común, la resultante es igual a la suma de las fuerzas actuantes.

Ejemplo: $F_1 = 1$ N, $F_2 = 2{,}5$ N
$F = F_1 + F_2$; $F = 1\text{ N} + 2{,}5\text{ N} = 3{,}5\text{ N}$

Acción de varias fuerzas en direcciones distintas

Observación: Al arrancar virutas con una cuchilla de torno se producen fuerzas en distintas direcciones. Aparecen así la fuerza de corte F_s y la fuerza de avance F_v como componentes de la fuerza de arranque de virutas F denominada fuerza sustitutiva o resultante.

Generalidades: La fuerza resultante F_r de dos fuerzas F_1 y F_2 cuyas líneas de acción forman un ángulo entre sí, se obtiene gráficamente por medio del paralelogramo de fuerzas.

Ensayo: Las fuerzas F_1 y F_2 se ponen en equilibrio en el sistema de la figura por medio de la fuerza resultante F_r.

Si se trasladan las fuerzas F_1 y F_2 en magnitud y dirección al punto de aplicación, la resultante es la diagonal del paralelogramo formado por ambas fuerzas.

Ley: Si sobre un punto actúan dos fuerzas que forman ángulo entre sí, la diagonal del paralelogramo de las fuerzas es la resultante de ambas.

Descomposición de fuerzas

Observación: En una garra de sujeción con suplemento de empuje, la fuerza F se descompone en la fuerza de sujeción F_1 y otra fuerza F_2 que actúa perpendicularmente al apoyo.

Dada una fuerza, puede siempre descomponerse en otras dos cuyas líneas de acción pueden fijarse arbitrariamente.

Ejercicio: El suplemento de empuje transmite una fuerza efectiva de $F = 40$ N. Hay que calcular las fuerzas F_1 y F_2.

Por la punta de la flecha que representa la fuerza se trazan paralelas a las direcciones dadas. Las fuerzas parciales se limitan entonces en las intersecciones con las líneas de acción.

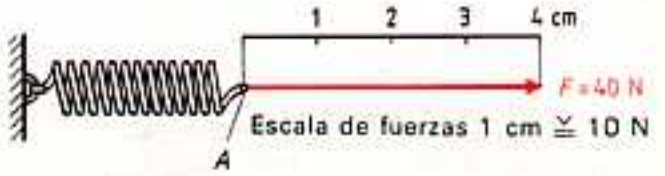


Figura 3-19. Representación de una fuerza.

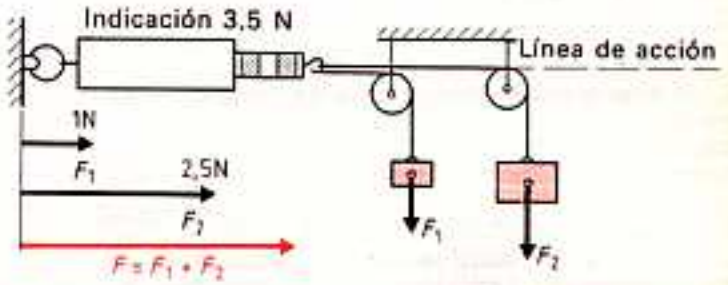


Figura 3-20. Dos fuerzas sobre la misma línea de acción.

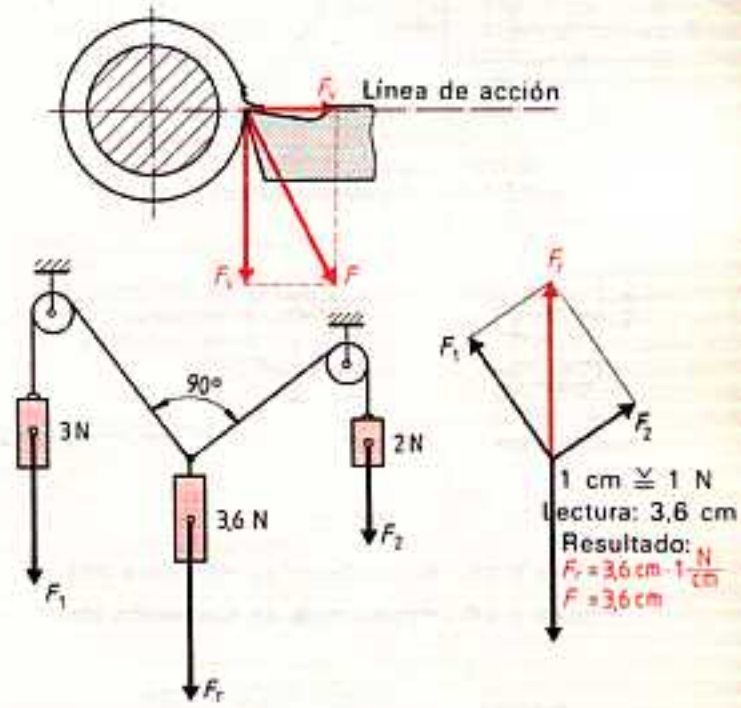


Figura 3-21. Composición de fuerzas.

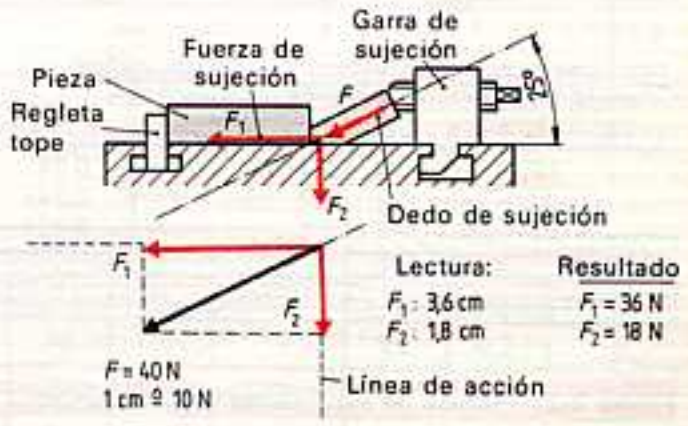


Figura 3-22. Descomposición de fuerzas.

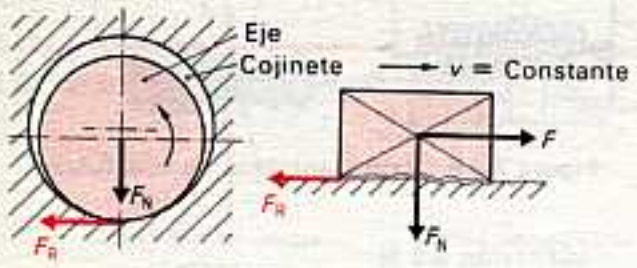


Figura 3-23. Rozamiento de deslizamiento.

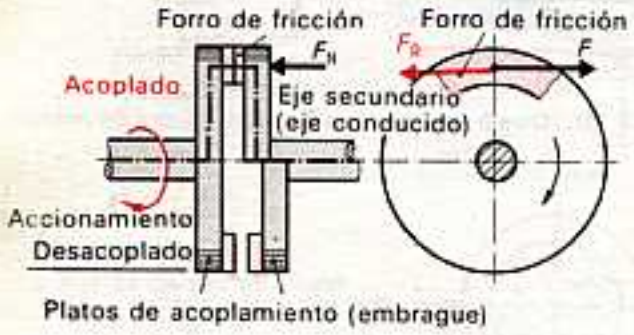
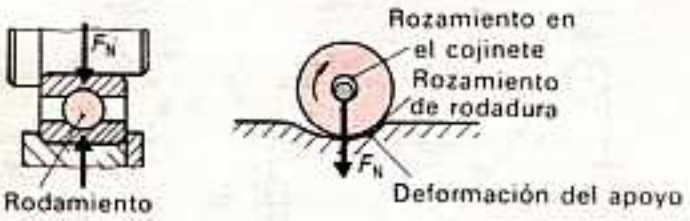
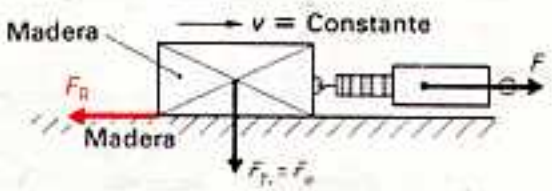


Figura 3-24. Rozamiento deseado.



Ejemplo: $F_r = \mu \cdot F_N$
F_r 0.005 10 kN 50 N

Figura 3-25. Rozamiento de rodadura (iz.).
Figura 3-26. Resistencia de traslación (der.).



Fuerza perpendicular F_N en N	Fuerza rozamiento F_R en N	$\mu = \frac{F_R}{F_N}$
10	2,4	0,24
20	4,9	0,245
30	7,1	0,237

Ejemplo: $F_R = \mu \cdot F_N$
$F_R = 0{,}24 \cdot 16\ N = 2{,}4\ N$

Figura 3-27. Índice de rozamiento de deslizamiento.

ROZAMIENTO Y FUERZA DE ROZAMIENTO

El rozamiento entre las superficies de contacto de dos cuerpos que se tocan se opone al movimiento recíproco de dichos cuerpos (movimiento relativo).

Este rozamiento no se desea cuando impide el movimiento, por ejemplo de los ejes en los cojinetes o el deslizamiento de un cuerpo (figura 3-23).

En cambio, se desea ese rozamiento cuando hay que reducir el movimiento o hay que detenerlo, por ejemplo, en los frenos, embragues de fricción, uniones por tornillos o clavos. Así se establece un rozamiento entre la pieza propulsora y la pieza arrastrada en el acoplamiento a fricción (figura 3-24).

Tipos de rozamiento

Hay que distinguirlos por la forma y clase de movimiento de los cuerpos que intervienen en el rozamiento.

Fricción de deslizamiento

Se llama así al rozamiento entre cuerpos cuyas velocidades en la superficie de contacto son distintas, por ejemplo, entre los ejes y los casquillos del cojinete.

La fuerza de rozamiento F_R aparece como consecuencia del rozamiento como resistencia mecánica contra el movimiento relativo

La fuerza de rozamiento tiene sentido contrario al del movimiento y se debe a la rugosidad de las superficies de contacto (separación y deformación de las partículas en contacto en las piezas).

El trabajo de rozamiento A_R es el trabajo necesario para vencer el rozamiento convirtiéndose en calor (calor de rozamiento) en su mayor parte.

Rozamiento de rodadura

Los cuerpos están en contacto en un punto o en la línea, por ejemplo, en un cojinete de bolas o de rodillos. Las velocidades son iguales en las superficies de contacto. Uno de los cuerpos realiza un movimiento de giro (figura 3-25). El rozamiento de rodadura se produce por la deformación del apoyo.

En los vehículos, al rozamiento de rodadura propiamente dicho se le agrega, en el suelo, el rozamiento de apoyo. La suma de ambos da la **resistencia a la traslación** (figura 3-26).

El rozamiento de rodadura es mucho más pequeño que el rozamiento al deslizamiento.

Rozamiento de adherencia

En este caso, la fuerza incidente no basta para producir el movimiento relativo de ambos cuerpos.

Magnitudes físicas

La fuerza de rozamiento puede medirse aplicando a un cuerpo una fuerza en el sentido del movimiento, de magnitud suficiente para anular la acción de frenado del rozamiento.

Índice de rozamiento

El índice de rozamiento queda definido por la fuerza de rozamiento F_R y por la fuerza normal F_N perpendicular a la superficie de rozamiento que aplica un cuerpo contra el otro.

Ensayo: La fuerza de rozamiento F_R puede leerse en el dinamómetro que acompaña al bloque de madera que se mueve a velocidad constante. Para distintos valores de la fuerza normal F_N, el cociente entre la fuerza de rozamiento y la correspondiente fuerza normal tiene siempre el mismo valor. Esta magnitud característica se denomina índice de rozamiento (figura 3-27).

$$\mu = \frac{F_R}{F_N}$$

El índice de rozamiento es directamente proporcional a la fuerza de rozamiento e inversamente proporcional a la fuerza normal.

Si se cambian los materiales emparejados, por ejemplo, si en lugar de madera sobre madera aplicamos acero sobre acero, cambiará el índice de rozamiento.

Los índices de rozamiento para el deslizamiento son mucho mayores que para la rodadura.

Ejemplos:

Acero sobre acero,	deslizamiento, en seco	$\mu = 0{,}2$
	rodadura	$\mu = 0{,}005$
Neumáticos de goma sobre asfalto	deslizamiento, en seco,	$\mu = 0{,}8$
	rodadura	$\mu = 0{,}024$

MOMENTO TORSOR, LEY DE LA PALANCA, PAR DE FUERZAS

Observación: Con una llave fija hay que apretar una tuerca de modo que se produzca un momento de apriete de 30 Nm. Para ello se necesita aplicar con la mano una fuerza dada y un brazo de palanca determinado en la llave fija.

Momento torsor

Ensayo: Una palanca de dos brazos está apoyada en D de forma que pueda girar. Si el peso $F_1 = 30$ N se aplica sucesivamente en los puntos ① a ③, se ve en ① que hay un efecto de giro de la palanca hacia la derecha, en ③, el efecto de giro es hacia la izquierda. En ②, la palanca se encuentra en equilibrio.

Resultado: El efecto de giro puede representarse por los productos $F_1 \cdot l_1$ o $F_2 \cdot l_2$. Estos productos se denominan **momentos torsores**. La distancia mínima entre el punto de giro o punto de apoyo y la línea de acción de la fuerza se denomina **brazo de palanca**.

Se llama momento torsor el producto de la fuerza por el brazo de palanca:
$M = F \cdot l$

La unidad del momento torsor es el newton-metro (1 Nm).

Ejemplo:

Para conseguir un momento torsor M = 30 Nm con una llave fija cuyo brazo de palanca tiene una longitud $l = 200$ mm, se necesita una fuerza:

$$M = F \cdot l; \quad F = \frac{M}{l} = \frac{30\ \text{Nm}}{0{,}2\ \text{m}} = 150\ \text{N}$$

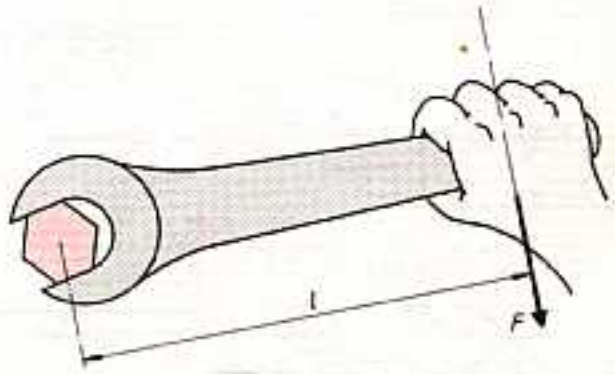
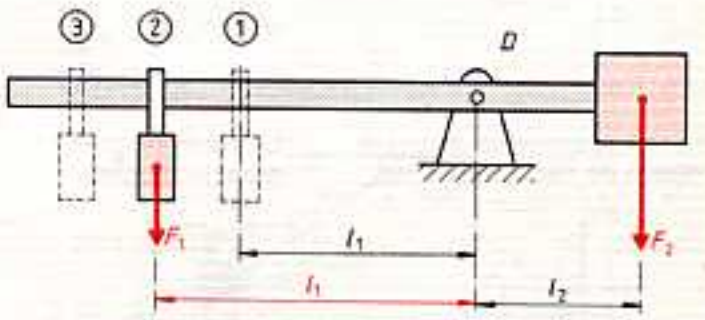
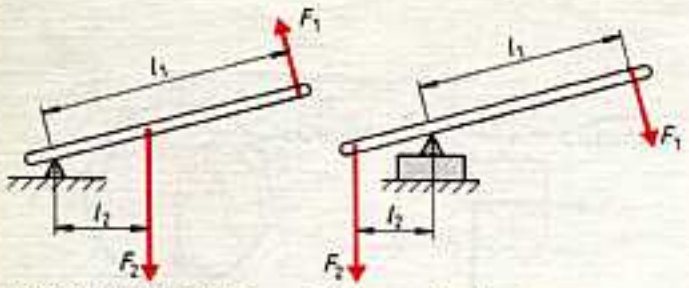


Figura 3-28. Transmisión de un momento torsor.

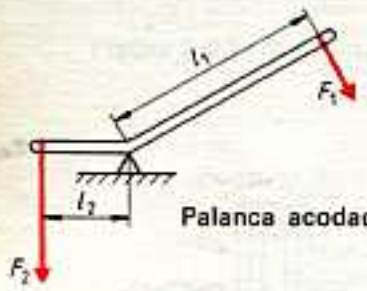


	F_1 N	l_1 m	$F_1 \cdot l_1$ Nm	F_2 N	l_2 m	$F_2 \cdot l_2$ Nm
①	30	0,3	9	60	0,2	12
②	30	0,4	12	60	0,2	12
③	30	0,5	15	60	0,2	12

Figura 3-29. Palanca de dos brazos en equilibrio.



Palanca de un brazo — Palanca de dos brazos



Palanca acodada

Ejemplo:

$F_2 = 100$ N, $l_1 = 400$ mm

$l_2 = 180$ mm

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot l_2}{l_1}$$

$$F_1 = \frac{100\ \text{N} \cdot 0{,}18\ \text{m}}{0{,}4\ \text{m}} = 45\ \text{N}$$

Figura 3-30. Distintos tipos de palancas.

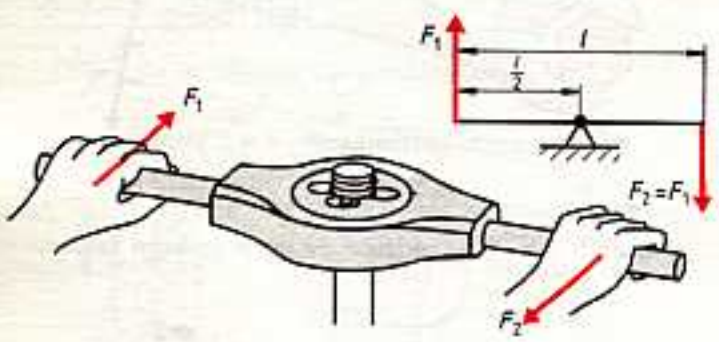
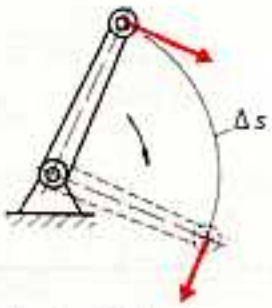


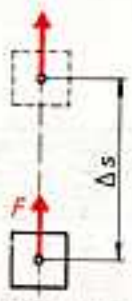
Figura 3-31. Par de fuerzas en una terraja con empuñadura.



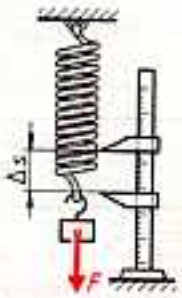
El carro superior se desplaza (trabajo de desplazamiento)



La manivela gira (trabajo de giro)



La pieza se eleva (trabajo de elevación)



El muelle se tensa (trabajo de tensión)

Figura 3-32. Diversos trabajos físicos.

Equilibrio de la palanca

Una palanca está en equilibrio cuando la suma de los momentos que giran a la izquierda tiene el mismo valor que la suma de los momentos que giran a la derecha.

Ejemplo:

$F_1 = 30$ N, $l_1 = 0{,}4$ m, $F_2 = 60$ N, $l_2 = 0{,}2$ m

Momentos que giran a la izquierda: $\widehat{M}_i = F_1 \cdot l_1$

$\widehat{M}_i = 30\ \text{N} \cdot 0{,}4\ \text{m} = 12\ \text{Nm}$

Momentos que giran a la derecha: $\widehat{M}_d = F_2 \cdot l_2$

$\widehat{M}_d = 60\ \text{N} \cdot 0{,}2\ \text{m} = 12\ \text{Nm}$

$$\boxed{\Sigma \widehat{M}_i = \Sigma \widehat{M}_d \text{ o bien } F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2}$$

El brazo de palanca es siempre la longitud de la perpendicular trazada desde el punto de giro a la línea de acción de la fuerza.

Par de fuerzas

Dos fuerzas paralelas de igual magnitud y sentidos opuestos que actúan sobre puntos distintos de un mismo cuerpo forman un par de fuerzas.

Un par de fuerzas origina siempre un momento torsor de magnitud $M = F \cdot l$.

$$M = F_1 \cdot \frac{l}{2} + F_2 \cdot \frac{l}{2} = \frac{l}{2}\,(F_1 + F_2)$$

$$F_1 = F_2 = F$$

$$M = \frac{l}{2} \cdot 2F; \quad M = F \cdot l$$

Ejemplo: $F_1 = F_2 = F = 20$ N; $l = 100$ mm

$M = F \cdot l = 20\ \text{N} \cdot 0{,}1\ \text{m}$; $M = 2$ Nm

TRABAJO Y ENERGÍA

Concepto del trabajo

Si hay que desplazar el carro superior de un torno, hacer girar un cigüeñal o elevar una pieza, para modificar la posición del cuerpo hay que aplicar una fuerza a lo largo de un recorrido Δs. Lo mismo hay que decir para tensar un muelle (cambio de forma). Cuando se llevan a cabo procesos físicos de este tipo se dice que se «realiza un trabajo W» (W = del inglés work).

Si el punto de aplicación de una fuerza F se desplaza a lo largo de un recorrido Δs, se realiza un trabajo mecánico.

Si la fuerza F se mantiene constante durante todo el movimiento, el trabajo W es el producto de la fuerza que actúa en la dirección del movimiento por el camino recorrido Δs.

$$\boxed{W = F \cdot \Delta s}$$

F = fuerza en N, Δs = camino recorrido en m, W = trabajo en Nm = J (joule) (de Joule, físico nacido en 1818 y muerto en 1889).

Ejemplo: Una pieza de masa $m = 200$ kg tiene que elevarse a una altura $h = 4$ m. Calcular el trabajo de elevación.

$$F = F_G = m \cdot g; \quad F = 200\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1962\ \text{N}$$

$$\Delta s = h = 4\ \text{m}$$

$$W = F \cdot \Delta s; \quad W = 1962\ \text{N} \cdot 4\ \text{m} = 7848\ \text{Nm} = 7848\ \text{J}$$

Concepto de energía

Observación: Si en la forja sin estampa la herramienta incide sobre la pieza con la velocidad v, la pieza experimenta una brusca reducción de sección.

El trabajo empleado para elevar, tensar o mover un cuerpo ha producido en éste, por lo tanto, una capacidad de realizar un trabajo. El cuerpo posee energía.

La energía es la capacidad que tiene un cuerpo de realizar un trabajo W. Las unidades de energía y de trabajo son iguales.

La capacidad de desarrollar un trabajo que adquiere un cuerpo por la altura a que está situado se denomina energía de posición o **energía potencial.**

$$W_{pot} = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

Un cuerpo en movimiento tiene también una capacidad para desarrollar un trabajo. Se denomina energía de movimiento o **energía cinética.** Depende de la masa y de la velocidad del cuerpo en movimiento. Si se prescinde del rozamiento, la energía potencial y la energía cinética son iguales.

$$W_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}; \quad W_{pot} = W_{cin}$$

Ejemplo: Una herramienta de forja de $m = 100$ kg incide sobre una pieza con la velocidad $v = 5{,}24$ m/s.

a) La energía cinética es:

$$W_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}; \quad W_{cin} = \frac{100\ \text{kg} \cdot 5{,}24^2\ \text{m}^2}{2\ \text{s}^2} = 1373\ \text{Nm}$$

b) Su altura de caída, teniendo en cuenta que $W_k = W_p$

$$W_{pot} = m \cdot g \cdot h; \quad h = \frac{W_{pot}}{m \cdot g} = \frac{1373\ \text{Nm s}^2}{100\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \text{m}} = 1{,}4\ \text{m}$$

Principio de la conservación de la energía

Una bola metálica se suspende de un hilo como en la figura 3-36. Al desplazarla de A a B se eleva la altura h adquiriendo una energía de posición. Al soltar el péndulo, la energía de posición se convierte en energía de movimiento, cuyo mayor valor se alcanza al pasar la bola por la posición más baja. A partir de este punto, la energía de movimiento vuelve a transformarse en energía de posición, que vuelve a alcanzar su valor inicial en C, en caso de que no haya ninguna cesión de energía al entorno (por ejemplo, resistencia del aire).

POTENCIA MECÁNICA

Observación: En la placa de características de un motor eléctrico encontramos, entre otras cosas, la potencia P en kW y el número de revoluciones n

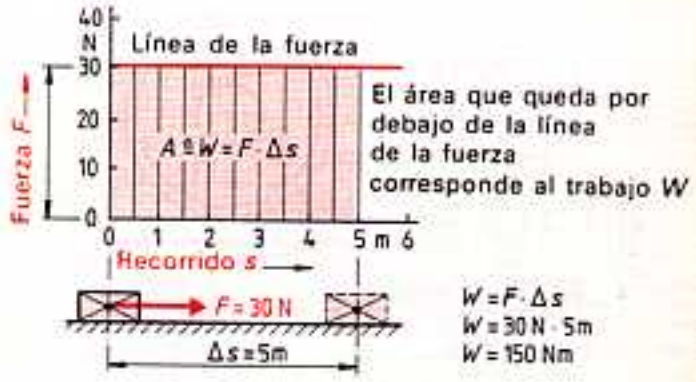


Figura 3-33. Diagrama de trabajo de una fuerza constante.

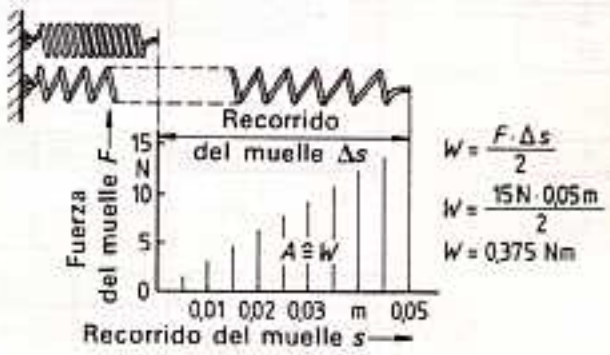


Figura 3-34. Diagrama de trabajo de una fuerza variable.

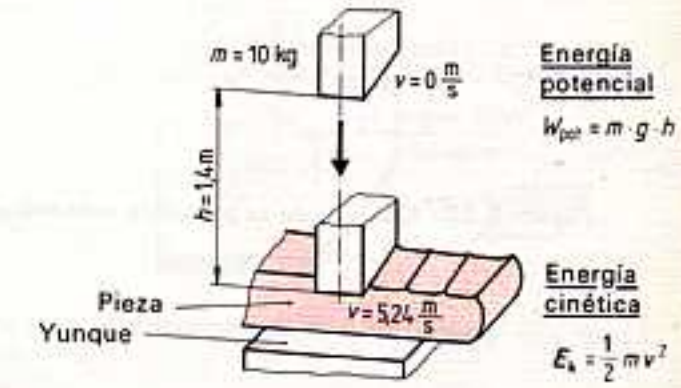
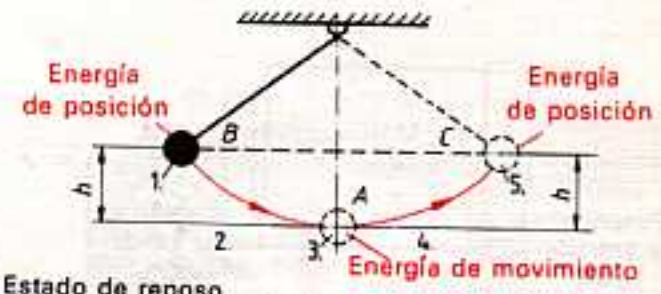


Figura 3-35. Trabajo de rebaje en forja sin estampa.



1. Estado de reposo
2. Movimiento acelerado de descenso sobre un arco de circunferencia
3. Estado de máxima velocidad
4. Movimiento retardado de ascenso sobre un arco de circunferencia
5. Estado de reposo

Figura 3-36. Conservación de la energía.

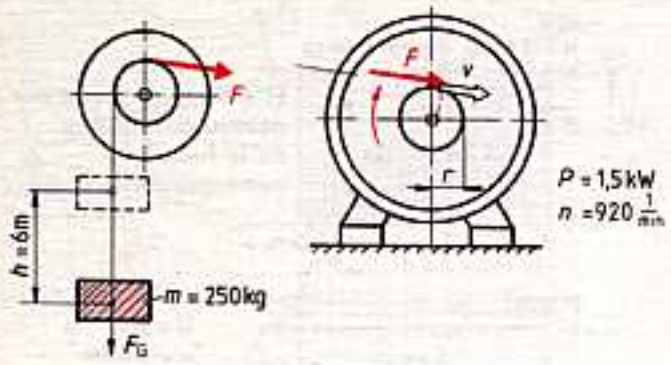


Figura 3-37. Potencia mecánica.

$P=\frac{W}{\Delta t}$

P	W	Δt
$\frac{N\cdot m}{s}=\frac{J}{s}=W$	$Nm=J$	s

$P=\frac{F\cdot\Delta s}{\Delta t}$

P	F	Δs	Δt
$\frac{N\cdot m}{s}=\frac{J}{s}=W$	N	m	s

$P=F\cdot v$

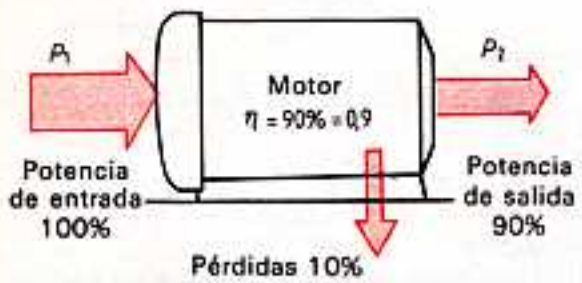
P	F	v
$\frac{N\cdot m}{s}=\frac{J}{s}=W$	N	$\frac{m}{s}$

$P=M\cdot\omega$

P	M	ω
$\frac{N\cdot m}{s}=W$	N·m	$\frac{1}{s}$

$$1\,\frac{\text{Joule}}{\text{segundo}}=1\,\frac{J}{s}=1\,\frac{\text{newton-metro}}{\text{segundo}}=1\,\frac{N\cdot m}{s}$$
$$=1\,\frac{\text{watt-segundo}}{\text{segundo}}=1\text{watt}=1\,W$$

Figura 3-38. Cálculo de la potencia mecánica.



$\eta=\frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}\quad \eta=\frac{P_2}{P_1}$

P_1	P_2
W	W

Figura 3-39. Rendimiento.

en rpm. El dato de la potencia nos dice qué trabajo puede realizar el motor en un segundo.

La potencia P de una fuerza constante es el cociente de dividir el trabajo W por el intervalo de tiempo correspondiente Δt.

$$\text{Potencia}=\frac{\text{Trabajo}}{\text{Intervalo de tiempo}}\qquad P=\frac{W}{\Delta t}=\frac{F\cdot\Delta s}{\Delta t}$$

Si tenemos en cuenta que $\Delta s/\Delta t = v$, obtenemos:

$$\text{Potencia} = \text{Fuerza por velocidad}\qquad P=F\cdot v$$

En el **movimiento de giro**, el punto de aplicación de la fuerza perimetral F se mueve a la velocidad periférica v, por lo que podemos sustituir v por $2\pi\cdot r\cdot n$. Si ponemos también M (momento de giro) y en vez de $F\cdot r\ \omega$ (velocidad angular) en vez de $2\pi\cdot n$, resulta:

$$\text{Potencia} = \text{Momento de giro por velocidad angular}$$
$$P=M\cdot\omega$$

Ejemplos:

1 Un motor eléctrico de un aparato elevador tiene una potencia $P = 1{,}5$ kW y un número de revoluciones por minuto $n = 920$ ($n = 15{,}33$ rps). Calcular su momento de giro.

$$P=M\cdot\omega;\quad M=\frac{P}{2\pi\cdot n}=\frac{1500\ \text{Nm/s}}{2\pi\cdot 15{,}33\ 1/s}=15{,}5\ \text{Nm}$$

2 Una pieza de $F_G = 2500$ N ha de elevarse a velocidad constante en $\Delta t = 10$ s a una altura $\Delta s = 6$ m. Determinar la potencia necesaria para la elevación.

$$P=\frac{F\cdot\Delta s}{\Delta t};\quad P=\frac{2500\ \text{N}\cdot 6\ \text{m}}{10\ \text{s}}=1500\,\frac{\text{Nm}}{\text{s}}=1500\ \text{W}$$

RENDIMIENTO

Observación: Un motor eléctrico toma de la red una potencia de 1 kW. Sin embargo, la potencia mecánica de salida es solamente de 0,9 kW. En la transmisión y transformación de la energía aparecen pérdidas por rozamiento y por calor.

Se entiende por rendimiento el cociente de dividir la potencia de salida P_2 por la potencia de entrada P_1.

El valor numérico es siempre inferior a la unidad = 100% y sirve de unidad de medida para la economía de una máquina o de una instalación. El rendimiento se representa por la letra griega η (eta).

PLANO INCLINADO

Observación: Para elevar cargas pesadas y para nivelar máquinas se utilizan planos inclinados (cuñas).

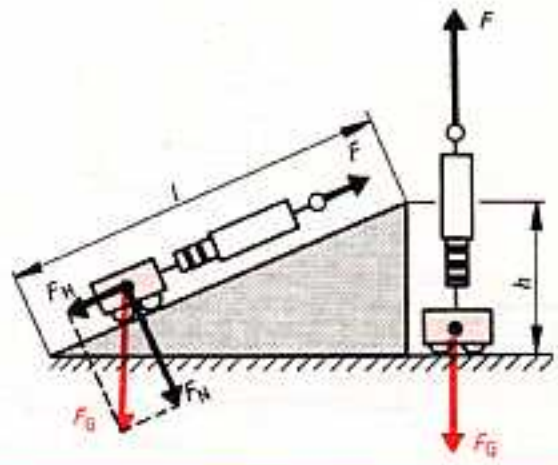
Si un cuerpo se encuentra sobre un plano inclinado, su peso se descompone en dos fuerzas componentes que actúan, respectivamente, paralela y perpendicularmente al plano inclinado. Si el cuerpo se desplaza en sentido ascendente a lo largo del plano inclinado, despreciando el rozamiento, la fuerza que habrá que aplicar será la F_H (fuerza de la pendiente) a lo largo del recorrido l; el trabajo realizado será, pues, $W_1 = F_H \cdot l$. Con ésto, el cuerpo se eleva a la altura h, por lo que se realiza el trabajo de elevación $W_2 = F_G \cdot h$.

Resulta:

$$W_1 = W_2 \text{ o bien } F_H \cdot l = F_G \cdot h$$

El trabajo realizado a lo largo de un plano inclinado es igual al trabajo necesario para la elevación vertical.

La segunda fuerza, que actúa perpendicularmente al apoyo, se denomina fuerza normal F_N.



Fuerza · Recorrido de la fuerza = Fuerza aplicada a la carga · Recorrido de la carga

Figura 3-40. Plano inclinado.

PRESIÓN (presión superficial) Y TENSIÓN

Presión y tensión son fuerzas referidas a superficies.

1. La presión (superficial) indica la magnitud de la fuerza que actúa perpendicularmente a una superficie.

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza normal}}{\text{Superficie}} \qquad p = \frac{F_N}{A}$$

Cálculo: Una losa de cimentación de $A = 4\ m^2$ recibe una fuerza normal de $F_N = 400000$ N. Calcular la presión superficial p.

$$p = \frac{F_N}{A};\quad p = \frac{400000\ \text{N}}{4\ \text{m}^2} = 100000\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 100000\ \text{Pa}$$

La unidad de presión es el pascal (símbolo Pa).

1 pascal es igual a la presión ejercida por una fuerza de 1 N sobre una superficie de 1 m^2.

Como 1 Pa suele ser demasiado pequeño para su aplicación práctica se ha introducido el bar.

$$400000\ \text{Pa} = 4\ \text{bar};\quad 0{,}005\ \text{bar} = 500\ \text{Pa}$$

$$1\ \text{bar} = 100000\ \text{Pa};\ 1\ \text{Pa} = 0{,}00001\ \text{bar}$$

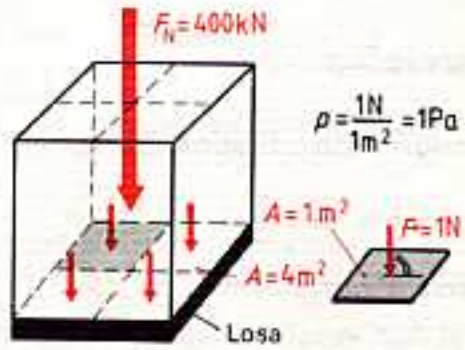


Figura 3-41. Generación de compresión por una fuerza normal.

Cálculo:

2. Los ejes, los cojinetes, las ruedas dentadas tienen que transmitir fuerzas. Por esta causa, en la estructura interna de los materiales existen fuerzas que se oponen a la rotura o deformación de la pieza. Una medida para la magnitud de la solicitación es la tensión (símbolo σ, letra griega sigma). Con esta denominación se entienden las fuerzas internas transmitidas por unidad de superficie (1 cm^2) o por mm^2 de sección transversal.

$$\text{Tensión} = \frac{\text{Fuerza interna}}{\text{Área de la sección}} \qquad \sigma = \frac{F}{S}$$

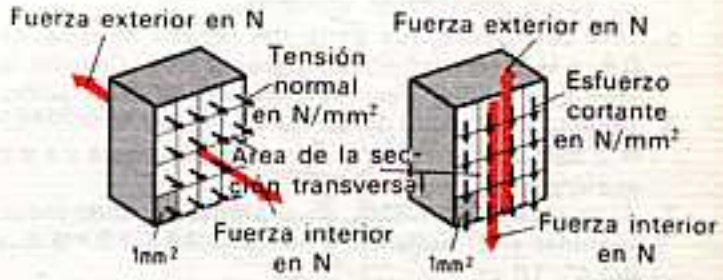


Figura 3-42. Tensión normal y esfuerzo cortante.

Cálculo: Un acero redondo de $d = 30$ mm ha de soportar una fuerza de 5000 N. La solicitación de la sección será:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F \cdot 4}{d^2 \cdot \pi};\quad \sigma = \frac{5000\ \text{N} \cdot 4}{(30\ \text{mm})^2 \cdot 3{,}14} = 7{,}07\ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Diferencias entre tensión normal y tensión de cortadura (esfuerzo cortante)

La tensión normal se produce por las fuerzas internas F_s perpendiculares a la sección y el esfuerzo cortante se produce por las fuerzas internas F_w paralelas a la sección (transversal) considerada.

$$\text{Tensión normal} \quad \sigma = \frac{F_s}{S}$$

$$\text{Esfuerzo cortante} \quad \tau = \frac{F_w}{S}$$

Las tensiones normales (símbolo σ = sigma) son perpendiculares a la superficie. Los esfuerzos cortantes (símbolo τ = tau) están en el plano de la superficie.

Ejercicios

Fundamentos físicos

Ejercicios sobre 3.1.2

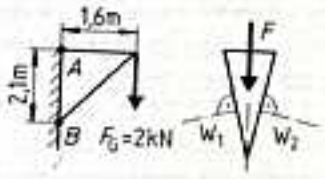
Fuerza y movimiento

1. Durante un movimiento de avance se miden recorridos de 0,2 cm al cabo de 2 s, 4 s y 6 s. Especificar y razonar el desarollo del movimiento.
2. Una herramienta efectúa una carrera de corte de 0,6 m en cada uno de los intervalos de 3, 4, 5 y 6 segundos. Dibujar el diagrama s-t y calcular la velocidad.
3. Se da como velocidad media de corte el valor $v_m = 20$ m/min. ¿Qué nos dice este dato?
4. Razonar por qué un movimiento alternativo (de ida y vuelta) no es un movimiento uniforme.
5. Una cepilladora que parte del reposo alcanza, al cabo de 0,8 s la velocidad constante de 2 m/s. Calcular la acerelación y el camino recorrido durante la aceleración.
6. Durante el intervalo de tiempo $\Delta t = 5$ s la velocidad varía de $v_1 = 2$ m/s a $v_2 = 10$ m/s. Dibujar el diagrama v-t y calcular la aceleración.
7. Al arrancar un vehículo, en el primer segundo recorre 1 m, al terminar el 2° segundo 4 m, después del 3.° 9 m y después del 4°, 16 m.
   a) Dibujar el diagrama espacio-tiempo y explicar el desarrollo.
   b) Determinar la aceleración y la velocidad final para $t = 4$ s.
8. Una herramienta de forja cae sobre la pieza desde una altura de 1,2 m ($g = 9{,}81$ m/s²). ¿Cuál será su velocidad final?
9. Con un tiempo total de caída de $t = 4$ s ¿qué espacio recorre un cuerpo en el 1.°, 2.°, 3.° y 4.° segundos? ¿Cuál es la altura total de caída?
10. Indicar cómo se puede calcular el número de revoluciones de un mecanismo de cigüeñal.
11. Comparar las fórmulas $v = \Delta s/\Delta t$ y $\omega = \Delta\varphi/\Delta t$ en cuanto a su analogía.
12. El número de revoluciones de un motor es $n = 1400$ rpm. Determinar su velocidad angular en rad/min.
13. Razonar por qué todo aumento constante del número de revoluciones de una máquina-herramienta implica un proceso de movimiento acelerado.
14. Dos poleas cuyos diámetros son $d_1 = 200$ mm y $d_2 = 300$ mm giran a $n_1 = n_2 = 1200$ rpm. Comparar las velocidades angulares y las periféricas.
15. Una brida de 240 mm de ϕ tiene que refrentarse a una velocidad de corte $v = 24$ metros por minuto. Determinar el número de revoluciones n en rpm.
16. Una piedra de amolar que parte del reposo alcanza una velocidad periférica $v = 30$ m/s en el tiempo $t = 4$ s. Dibujar el diagrama v-t.
17. Las fuerzas se determinan por sus efectos. Indicar cuatro efectos distintos de una fuerza.

18. Un cuerpo de $m = 10$ kg experimenta una aceleración $a = 2$ m/s². Determinar la fuerza aceleradora.
19. Dar algunos ejemplos de «fuerza y reacción».

Composición y descomposición de fuerzas

20. Dibujar la fuerza $F = 400$ N ascendente que forma 60° con la horizontal. (Escala: 1 cm ≙ 100 N).
21. Sobre un mismo punto actúan las fuerzas $F_1 = 300$ N horizontal hacia la derecha, y $F_2 = 200$ N inclinada 45° hacia arriba. Determinar la fuerza resultante.



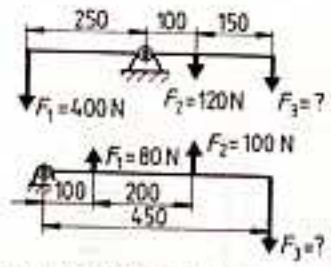
22. Determinar gráficamente las fuerzas aplicadas a los puntos A y B de la figura.
23. Descomponer la fuerza $F = 80$ N en las direcciones de las líneas de acción W_1 y W_2.

Rozamiento, fuerza de rozamiento

24. Un carro de 1,3 kN se desliza por las guías de un torno ($\mu = 0{,}1$). Calcular la fuerza del movimiento.
25. ¿Cómo se explicarían las resistencias al movimiento en el rozamiento de deslizamiento y en el rozamiento de rodadura?
26. Indicar cuándo es deseable el rozamiento y cuándo no lo es.
27. Un cojinete de fricción (acero sobre aleación de CuZn) está cargado con 2,5 kN. Calcular la fuerza de rozamiento en seco $\mu = 0{,}18$ (el cojinete se agarrota) y con lubricación $\mu = 0{,}03$.

Momento torsor, ley de la palanca, par de fuerzas.

28. El momento torsor de una manivela de $l = 200$ mm ha de ser de $M = 200$ Nm. Calcular la fuerza necesaria.
29. Indicar cuándo se encuentra en equilibrio una palanca.
30. Determinar, en los dos casos de la figura, la fuerza F_3 que hay que aplicar a la palanca y definir las clases correspondientes de palanca.



31. ¿Qué longitud ha de tener el brazo de palanca l_1 para mantener en equilibrio una palanca de dos brazos con el momento $F_2 \cdot l_2 = 110$ Nm aplicando la fuerza $F = 200$ N?

Trabajo, energía, potencia, rendimiento

32. Las unidades de momento torsor y de trabajo mecánico son Nm. ¿Cómo se distinguen?
33. Determinar el trabajo de recorrido de una máquina de $F_G = 2$ kN ($\mu = 0{,}3$) que se mueve horizontalmente 2 m.
34. Una grúa eleva una carga $m = 75$ kg con velocidad constante $v = 2$ m/s. Calcular la potencia útil en kW.
35. La potencia humana constante es de 73 W aproximadamente. ¿Qué trabajo en J se realizará en una hora?
36. Una grúa de construcción se acciona con un motor de $P = 3{,}68$ kW y es capaz de elevar a 6 m de altura una carga $m = 1\,500$ kg en 30 s por medio de un mecanismo de engranajes.
    a) Calcular el trabajo y la potencia.
    b) Determinar el coeficiente de rendimiento de la instalación. ¿Qué significa el rendimiento?

Plano inclinado, compresión y tracción

37. Razonar por qué en el plano inclinado no se puede ganar trabajo (energía).
38. Un peso de 7 kN tiene que transportarse a 2,8 m de altura deslizándolo sobre una viga de acero inclinada de 12 m de longitud. Determinar:
    a) Fuerza de tracción sin tener en cuenta el rozamiento.
    b) Posibilidades que se tienen de reducir la fuerza de tracción.
39. Convertir en bar una presión de 12 000 Pa.
40. Una fuerza $F = 2\,000$ N actúa a) sobre una superficie de 0,2 m² y b) sobre una superficie de 0,8 m². Razonar sobre la presión superficial.
41. Una tensión de tracción no debe exceder de 500 N/mm². ¿Qué significa esto?

3.2 Formación de brutos

3.2.1 Procesos físicos

FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA

Calor y temperatura

El calor es una forma de energía que consiste en la energía de movimiento de las moléculas. Cuanto más intensamente se mueven las moléculas, más caliente está un cuerpo.

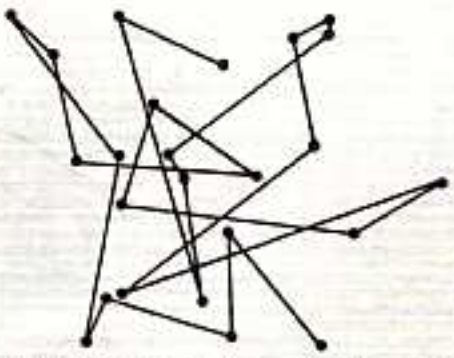


Figura 3-43. Movimiento de una partícula sólida en el agua como consecuencia del movimiento de las moléculas de agua.



Figura 3-44. Producción de calor.

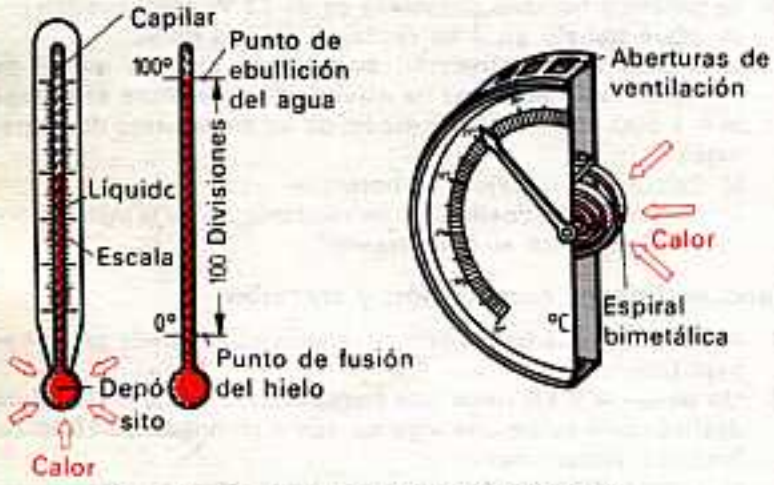


Figura 3-45. Termómetro de líquido (iz.).
Figura 3-46. Termómetro bimetálico (der.).



Figura 3-47. Termoelemento.

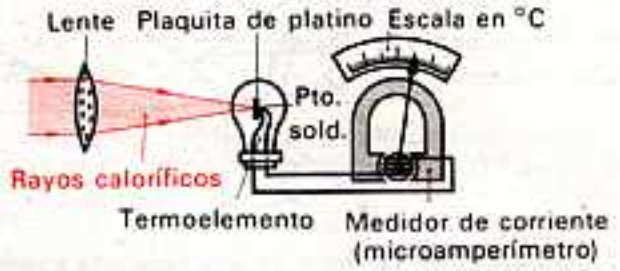


Figura 3-48. En el pirómetro de radiación se condensan las radiaciones de calor y calientan el punto de soldadura de un termoelemento.

Ensayo: Doblando repetidamente a un lado y otro un alambre, el punto de doblez se calienta.

a) Se produce calor por el rozamiento. Una parte de la energía mecánica se convierte en calor.
b) Se produce calor por la corriente eléctrica. Los electrones que se mueven a través del alambre chocan dentro del conductor con los iones metálicos y, en el impacto, aumentan su energía de oscilación que se manifiesta por medio del calor.
c) Se produce calor en la combustión, es decir, en un proceso de oxidación de las materias combustibles.

El nivel calorífico de cada caso se caracteriza por una temperatura determinada. La temperatura es una magnitud de estado. La medición de la temperatura suele hacerse por medio de grados (°) Celsius (Celsius, astrónomo sueco, 1701 a 1744). Con ellos se expresa el punto de congelación como 0 grados y el punto de ebullición del agua como 100 grados. La escala de temperaturas Kelvin (Kelvin, físico inglés, 1824 a 1907) parte del cero absoluto, −273°C. Los intervalos de temperatura son los mismos. Se tiene: 273 K = 0°C, 20°C = 273 K + 20 K = 293 K.

Medición de la temperatura

El sentido del hombre para la temperatura, es decir, su capacidad para evaluar la excitación térmica, es muy incompleto. Las variaciones debidas a la acción del calor de algunas propiedades de los cuerpos, como dilatación, fenómenos eléctricos, incandescencia, radiación, fusión, permiten desarrollar aparatos para medir con exactitud las temperaturas.

Los **termómetros** se basan en el principio de la dilatación de materias líquidas o sólidas. El mercurio y el alcohol se dilatan uniformemente; se habla de termómetros de mercurio y de alcohol. Al aportarse calor, el líquido contenido en el depósito del termómetro experimenta un aumento de volumen, lo que le hace elevarse por el tubo capilar soldado al depósito. El termómetro bimetálico está formado por dos metales de distinto coeficiente de dilatación soldados uno a otro, por ejemplo, dos aceros al níquel, uno al 20% y el otro al 36%. El bimetal se fabrica en espiral; al aumentar la temperatura, el acero al níquel del 36% se dilata más y la espiral adquiere mayor curvatura.

Pirómetro termoeléctrico (termoelemento). Si se calienta el punto de soldadura de dos alambres de distinto material, aparece una tensión eléctrica de contacto (termoefecto). La tensión depende de la diferencia de temperaturas entre el punto de medición «caliente» y el extremo «frío» de los alambres.

Los electrones no se hallan ligados por igual en los distintos metales. Como consecuencia se produce un cambio de electrones que dependerá de la temperatura. De esta manera, uno de los metales se hará positivo por la pérdida de electrones y el otro se cargará negativamente por la ganancia de electrones. Circula una corriente eléctrica. Los termoelementos se hacen de cobre-constantán (hasta 600°C) y de platino-rodioplatino (hasta 1600°C).

Se emplean **pirómetros de radiación** para la medición de temperaturas de metales al rojo o en fusión hasta unos 3 000°C. Las radiaciones térmicas se recogen con una lente óptica y se llevan a un termoelemento. La escala del medidor de intensidad eléctrica se gradúa en grados Celsius o Kelvin.

MEDICIÓN DE CANTIDAD DE CALOR

El calor es una forma de energía y se mide en joules (J).

La energía mecánica (unidad Nm), la energía eléctrica (unidad Ws) y la energía calorífica son magnitudes físicas del mismo tipo (1 J = 1 Nm = 1 Ws). La cantidad de calor Q que puede aportarse a un cuerpo de masa $m = 1$ kg para elevar su temperatura en $\Delta\theta = 1$ K se denomina capacidad térmica específica c. La unidad es kJ/(kg · K).

Ejemplo:

Un cuerpo de acero de $m = 150$ kg cuya capacidad térmica específica es $c = 0{,}478$ kJ/(kg · K) tiene que calentarse desde $\theta_1 = 20°C$ a $\theta_2 = 900°C$ ($\Delta\theta = 880$ K). Determinar la cantidad de calor necesaria Q. (θ = theta, Δ = delta).

$$\boxed{Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta}; \quad Q = 150\ \text{kg} \cdot 0{,}478\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 880\ \text{K} = 63096\ \text{kJ}$$

PROPAGACIÓN DEL CALOR

Se denomina conducción del calor al transporte de calor a un cuerpo.

Hay buenos y malos conductores de calor. Son buenos conductores de calor los metales, aunque en distinto grado. Son malos conductores de calor los plásticos y el vidrio, que sirven como aislantes.

Ensayo: Tres varillas metálicas, una de cobre, otra de aleación CuZn y la tercera de acero, de igual sección e igual longitud, se colocan a la vez en una llama por uno de sus extremos. Unas cerillas colocadas sobre ellas se van encendiendo por el orden de su conductibilidad calorífica: cobre-aleación CuZn-acero.

La conducción del calor se explica por el movimniento oscilatorio de las partículas del material. La energía calorífica excita a los iones contenidos en la retícula cristalina del metal lo que les intensifica el movimientos de oscilación alrededor de la posición de reposo; este movimiento se transmite de partícula en partícula.

Flujo de calor (convección) es la transmisión del calor a través de los gases y líquidos en movimiento. Si una pieza caliente se enfría en el agua o en el aire, la energía calorífica se transmite a las partículas líquidas o gaseosas en contacto con la superficie límite. Las diferencias locales de densidad que se producen son la causa del flujo.

Radiación del calor es la transmisión del calor sin ligazón alguna con la materia, es decir, que se produce también en el espacio vacío (radiación solar). Se trata de ondas electromagnéticas de longitud de onda del orden de 0,001 mm emitidas por los átomos del material que están en oscilación.

DILATACIÓN POR EL CALOR

Las oscilaciones más intensas de las partículas de los materiales son causa de su aumento de volumen.

Ensayo: La bola de acero de la figura 3-52 puede pasar fácilmente por el anillo a la temperatura ambiente. Si se calienta a unos 300°C, queda atascada en el anillo.

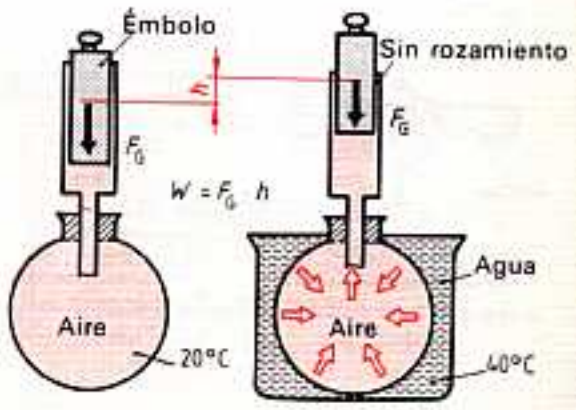


Figura 3-49. El calor puede realizar trabajo.

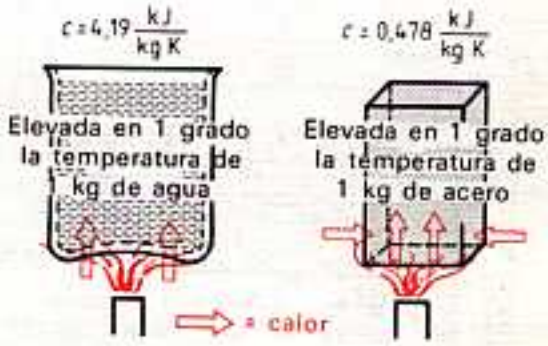


Figura 3-50. Capacidad calorífica del agua y del acero.

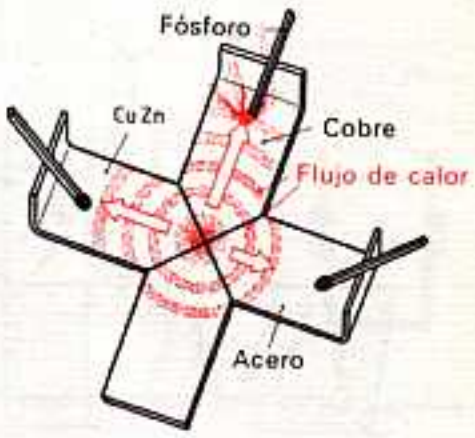


Figura 3-51. Conducción del calor en los metales.

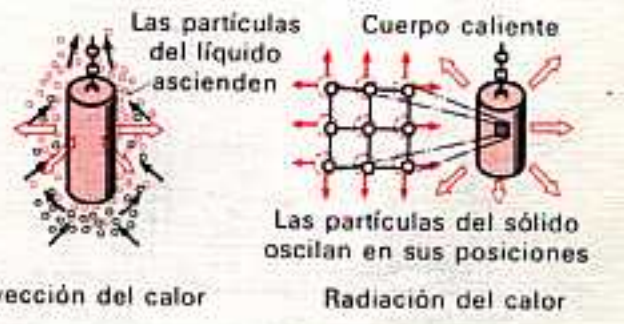


Figura 3-52. Convección de calor y radiación de calor.

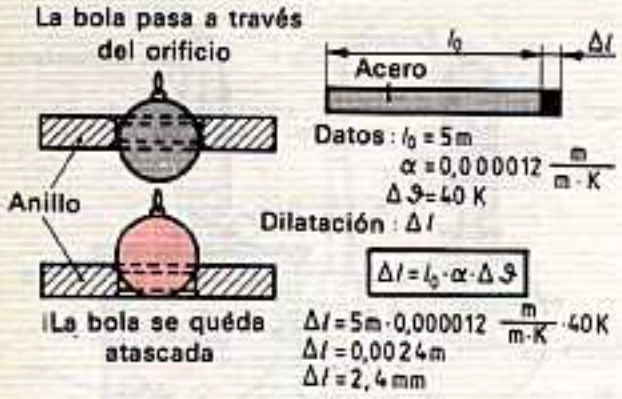


Figura 3-53. Aumento de volumen y dilatación lineal.

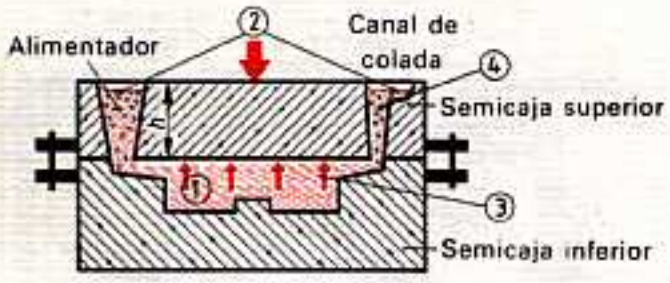


Figura 3-54. Propiedades de los líquidos en reposo.

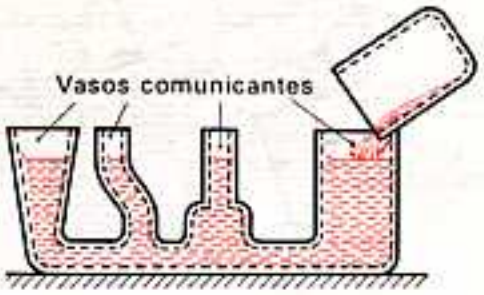


Figura 3-55. Los líquidos llenan todos los espacios abiertos.

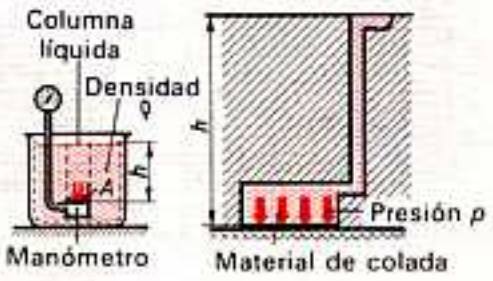


Figura 3-56. Presión de gravedad y presión de colada de un líquido.

Cuando se trata de piezas largas (alambres, tubos, pernos o barras) se acusa más la dilatación longitudinal. Depende del material que se caracteriza por su coeficiente de dilatación lineal α (alfa), de la longitud inicial l_0 y del aumento de temperatura $\Delta\theta$.

Dilatación $\boxed{\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta}$

Al enfriarse un cuerpo sólido, el movimiento oscilatorio de las partículas materiales en la retícula se hace más lento: El cuerpo se contrae. Casi todos los materiales se contraen al enfriarse, por ejemplo, el hierro fundido se contrae el 1% de su longitud inicial en todas las direcciones cuando se enfría después de la colada.

COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES LÍQUIDOS

El material en fusión tiene el mismo comportamiento que los líquidos. El molde de colada lleno permite apreciar lo siguiente: 1. El metal líquido llena todo el espacio del molde. 2. Dentro del molde, los niveles del líquido alcanzan la misma altura. 3. Hay que cargar la parte superior de la caja porque el material fundido ejerce una presión contra ella. 4. Las impurezas del metal líquido se separan de él hacia la parte superior.

Todo líquido se adapta siempre a la forma del recipiente que lo contiene.

Ensayo: Si se llenan con agua los vasos comunicantes de la figura 3-54, el líquido se adapta a los recipientes.

Las partículas de un líquido pueden desplazarse con facilidad entre sí. Están sometidas a la fuerza de atracción de la Tierra y llenan el volumen disponible a partir de su parte inferior.

Todo líquido está sometido a la presión de gravitación.

Las capas superpuestas de un líquido ejercen una presión debida a la gravedad. Es la fuerza ponderal del líquido que se ejerce sobre 1 m^2 de superficie.

Ensayo: En el ensayo de la figura 3-55, la membrana de goma se deforma por la presión de la columna líquida.

El peso del líquido que carga sobre la membrana es:

$F_G = m \cdot g; \quad m = V \cdot \varrho = A \cdot h \cdot \varrho \quad (g = \text{Fallbeschleunigung})$

Por lo tanto, la presión

$$p = \frac{F_G}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{A \cdot h \cdot \varrho \cdot g}{A}; \quad \boxed{p = h \cdot \varrho \cdot g}$$

Ejemplo:
La presión del líquido (presión de colada) del hierro fundido ($\rho = 7\ kg/dm^3 = 7\,000\ kg/m^3$) en un molde de $h = 0{,}21$ m de altura es:

$$p = 0{,}21\ m \cdot 7000\ kg/m^3 \cdot 10\ m/s^2 = 14700\ Pa = 0{,}147\ bar$$

Sólo depende de la densidad y altura del líquido, es decir, es independiente de la forma del recipiente.

En los vasos comunicantes un mismo líquido en reposo alcanza la misma altura en todos ellos.

En los vasos comunicantes hay equilibrio de presiones cuando la altura del líquido es igual, es decir, si $p_1 = p_2$.

Si estos vasos contienen todos el mismo líquido, tendremos:

$$p_1 = h_1 \cdot \varrho \cdot g \quad \text{y} \quad p_2 = h_2 \cdot \varrho \cdot g, \text{ así pues, } h_1 = h_2.$$

Contra la superficie de la tapa de un líquido encerrado se ejerce una presión hacia arriba.

Un líquido ejerce una presión hacia arriba en cualquier punto de su superficie cuando la superficie del líquido está más alta en algún lugar. Si es h la diferencia de alturas entre la superficie de la tapa A y el nivel del líquido, la presión hacia arriba F_D es:

$$F_D = A \cdot p; \quad F_D = A \cdot h \cdot \varrho \cdot g$$

Ejemplo:

Superficie útil de la tapa de un molde: $A = 500\ cm^2$. Punto más alto del líquido en el depósito alimentador por encima del nivel de la tapa: $h = 10$ cm. Calcular el empuje hacia arriba:

$$F_D = 0{,}05\ m^2 \cdot 0{,}1\ m \cdot 7000\ kg/m^3 \cdot 10\ m/s^2 = 350\ N$$

Este empuje hacia arriba debe contrarrestarse embridando la caja o colocando pesos encima de la tapa.

Empuje hacia arriba

Todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta una fuerza F_A (empuje) dirigida hacia arriba. Su magnitud es equivalente al peso $F_{G\,Fl} = V \cdot \rho_{Sq} \cdot g$ de la cantidad de líquido desalojada por él (Principio de Arquímedes, g = aceleración de la gravedad).

$$F_A = F_{G\,Fl} \qquad F_A = V \cdot \varrho_{Fl} \cdot g$$

Ensayo: Un cuerpo experimental de $V = 50\ cm^3$ tiene un peso $F_{G1} = 4$ N. En el agua, su fuerza de inmersión sólo es $F_{G2} = 3{,}5$ N. Por lo tanto, el empuje ascensional efectivo es $F_A = F_{G1} - F_{G2} = V \cdot \rho_{Sq} \cdot g = 0{,}5$ N.

Por lo tanto, las impurezas contenidas en una fusión experimentan un empuje ascensional. Como su densidad es, en general, menor que la del material en fusión, las partículas son empujadas hacia arriba y se reúnen en el depósito alimentador o en la superficie de la colada.

Líquidos en circulación

Por medio de los sistemas de canales de colada del molde, corre todo el metal en fusión necesario para obtener la pieza. No se deben producir arrastres de arena, aire ni gases que puedan llegar y quedar en la pieza de fundición moldeada.

Vertido. La forma del reborde de colada ① permite el movimiento hacia arriba del metal, con lo que las partículas de escorias, espuma y burbujas de aire van hacia la superficie.

La protección contra escorias ② retiene el metal en fusión, que puede así fluir limpio y calmado hacia el embudo de colada.

En el embudo de colada ③ debe conseguirse un flujo uniforme semejante a un chorro líquido que caiga libremente. Al pasar del embudo al conducto ④ no deben producirse torbellinos.

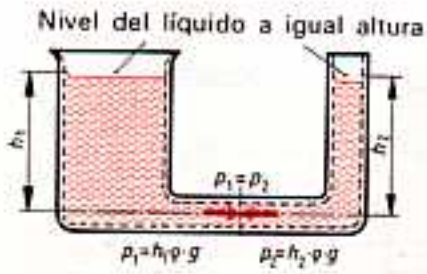


Figura 3-57. En los vasos comunicantes los líquidos alcanzan el mismo nivel.

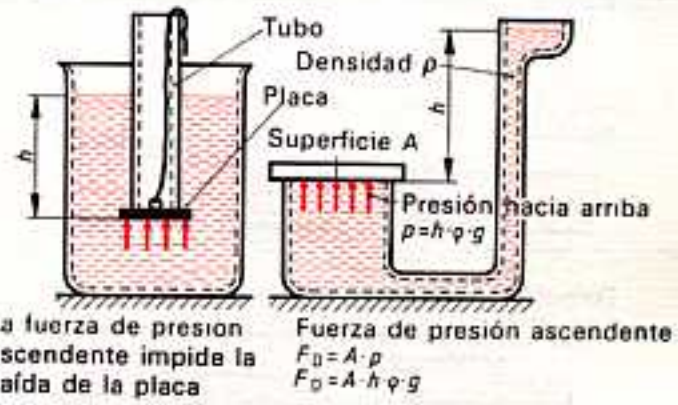


Figura 3-58. Los líquidos ejercen una presión hacia arriba contra la superficie de la tapa.

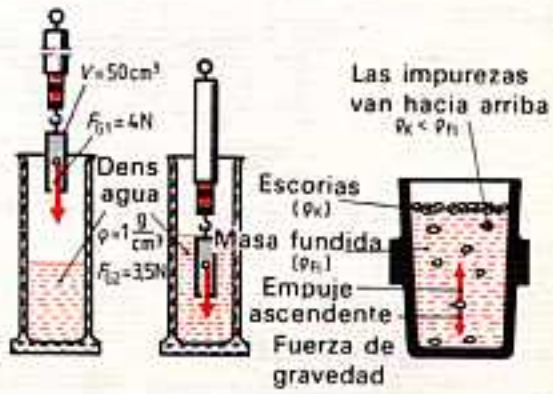


Figura 3-59. Empuje ascendente en los líquidos.

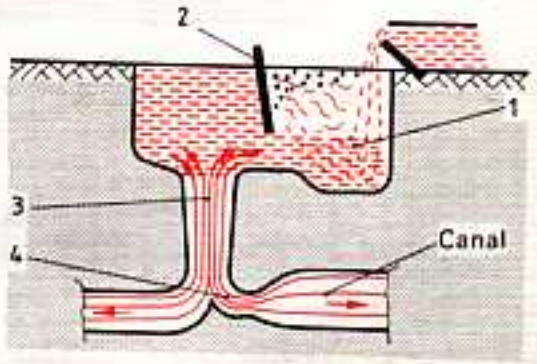
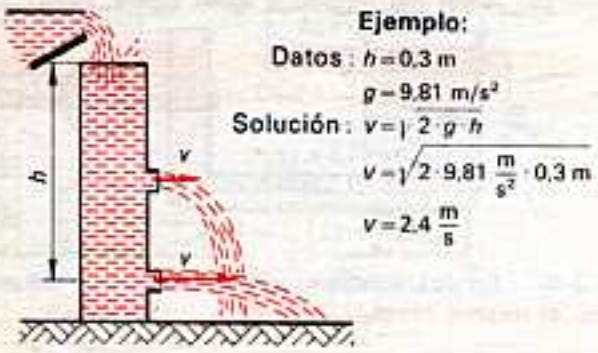


Figura 3-60. Colada con transición del embudo al canal.



Ejemplo:

Datos: $h = 0{,}3\ \text{m}$

$g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$

Solución: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0{,}3\ \text{m}}$

$v = 2{,}4\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Figura 3-61. Velocidad de salida y altura del líquido.

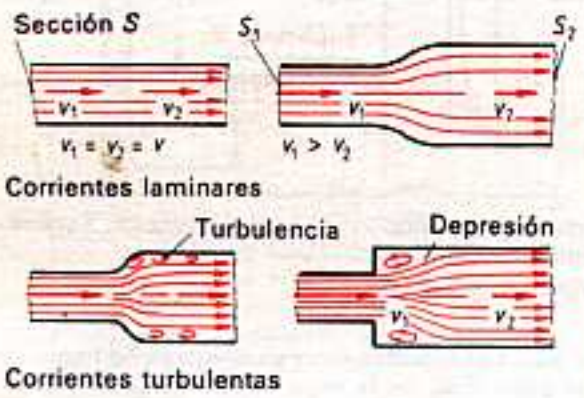


Figura 3-62. Dos tipos de corriente.

Estas condiciones se cumplen si se tienen en cuenta las condiciones físicas de los líquidos en movimiento.

Velocidad de salida. La velocidad con la cual el metal en fusión fluye desde el embudo al molde es tanto mayor cuanto más alto se encuentre el nivel del líquido sobre la abertura de salida.

Se tiene:

$$\boxed{v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}$$

$v =$ velocidad en m/s
$g =$ aceleración de la gravedad en m/s^2
$h =$ altura del líquido en m

Corriente laminar y corriente turbulenta. Si un líquido se desliza por un canal en capas paralelas, la corriente se denomina laminar. La ampliación de la sección transversal reduce la velocidad de la corriente, el estrechamiento la aumenta.

Si la sección se amplía gradualmente, se mantiene la corriente laminar. Si se amplía mucho la sección o las transiciones son bruscas, se forman espacios muertos y torbellinos y la corriente es turbulenta. Si la corriente se rompe junto al borde, se produce una depresión con lo que, en la colada, se arrastran aire y gases.

Velocidad de flujo. Si la corriente es laminar, las velocidades son inversamente proporcionales a las secciones de paso.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

$v_1 ; v_2 =$ velocidades en m/s
$S_1 ; S_2 =$ secciones de paso en m^2

Corriente volumétrica (caudal). Es el flujo en volumen por segundo que pasa por una tubería o por una abertura. Depende de la velocidad y de la sección.

$$\boxed{\dot{V} = v \cdot S}$$

Ejemplo:

$\dot{V} = 2\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0{,}002\ \text{m}^2 = 0{,}004\ \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

3.2.2 Formación de brutos mediante fundición

FUNDICIÓN CON MOLDES PERDIDOS

Al efectuar la colada, el hueco del molde se llena con material de fundición en estado líquido. Una vez solidificado, el material queda con una «forma primitiva» o «bruta».

Métodos de moldeo y colada

1. Con moldes perdidos y modelos permanentes:
   (molde de caja, molde de plantilla, molde de máscara)
2. Con modelos perdidos:
   (método de colada de precisión, método de colada con molde lleno)
3. Con moldes permanentes:
   (fundición en coquillas, fundición centrifugada, fundición a presión, fundición compound).

Construcción de los modelos

La figura de la pieza de fundición utilizada para la confección del molde se denomina modelo. El modelo se construye de madera, metal o plástico de acuerdo con los planos técnicos. En la construcción de los modelos se utiliza una escala de contracción cuya longitud es mayor que la proporción en que la pieza fundida se contrae desde el comienzo de la solidificación hasta alcanzar la temperatura ambiente (hierro fundido 1%, aleación de cinc 1,5%, acero fundido 2%). Para protegerlo de la humedad, el modelo lleva una capa de pintura cuyo color está normalizado según el material que se haya de fundir (fundición gris = rojo, fundición maleable = gris, acero moldeado = azul).

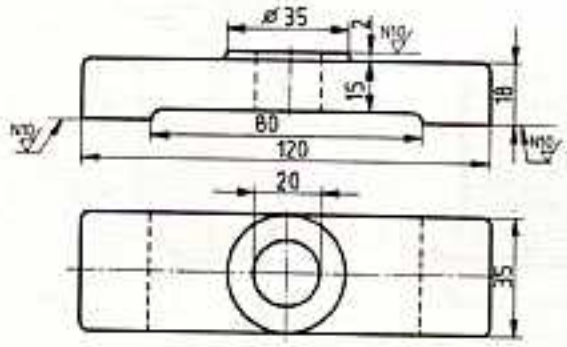


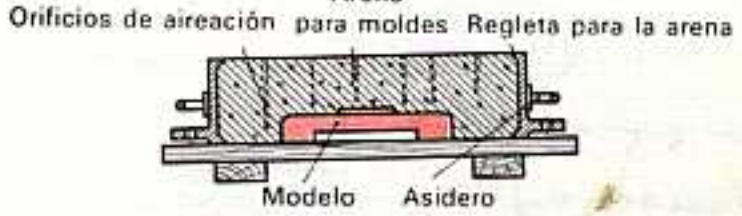
Figura 3-63. Plano de un modelo.

Formación de los moldes

Los moldes se hacen de arena o barro, a mano o mecánicamente, en crisol o en cajas de moldear.

Para moldear en cajas se utiliza arena de moldear. Está formada por arena de cuarzo de grano pequeño y un aglomerante (que es una fina capa de arcilla) que rodea todos los granos de la arena. Esta capa de arcilla adquiere su capacidad aglomerante humedeciendo la arena. En la actualidad, en lugar de arena suele utilizarse un aglomerante de resinas sintéticas. Las propiedades que ha de tener la arena para moldear son plasticidad, estabilidad, resistencia al calor y permeabilidad a los gases.

Los huecos de la pieza fundida se obtienen colocando machos a los que el metal en fusión envuelve. Los machos se moldean en cajas para machos. El macho ha de tener mayor resistencia que el molde. Por esta razón se preparan con una arena especial (arena para machos). Una vez seco, el macho se coloca en la semicaja inferior.



Modelo encajado, espolvoreado, lleno de arena, compactado, con orificios de aireación practicados.

Figura 3-64. Caja inferior del molde.

Preparación del molde para la colada

Una vez moldeado el modelo en la semicaja inferior, se le da la vuelta y se le coloca la semicaja superior. El modelo se dota con los embudos de vertido y alimentación. Una vez practicados los orificios de ventilación, se sacan las maderas de vertido y alimentación y se levanta la semicaja superior. Se saca el modelo y se cortan las entradas.

Se vuelve a colocar la semicaja superior y se embrida a la inferior, o se le colocan pesos encima para que no se levante al efectuar la colada.

La colada se efectúa en el taller de fundición. La pieza fundida en bruto tiene la forma del modelo con la mazarota y rebosadero y con los huecos formados por los machos.

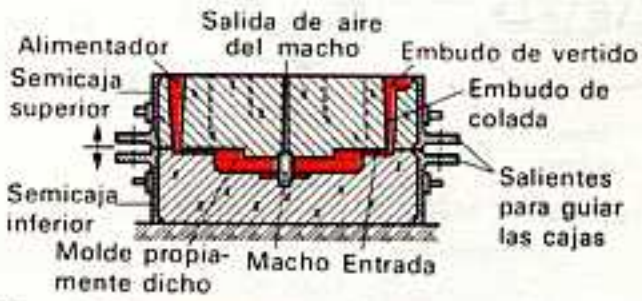


Figura 3-65. Preparación del molde para la colada.

Métodos especiales de formación de los moldes

El **molde abierto con placa superior** es apropiado para modelos muy grandes. Se utiliza para ello una placa superior. De esta manera, la superficie queda más perfecta que con el molde abierto sin la placa.

Método de moldeo con máscara. En lugar de los moldes macizos de arena y de los machos llenos, se utilizan máscaras de paredes delgadas y machos huecos. Para la preparación de estas máscaras de moldear se utiliza arena para moldear (cuarzo) y resina sintética en la proporción 10:1 a 25:1. El material de moldear se vierte o sopla sobre la placa del modelo (a) que se ha calentado a 300°C. Al reblandecerse la resina sintética se forma una capa de 5 a 10 mm de espesor (b). Una vez retirado el material sobrante, la placa modelo se lleva a una estufa de caldeo (c) hasta que se endurezca la capa adherida al modelo. Una vez endurecida, la máscara puede retirarse de la placa



Figura 3-66. Pieza fundida en bruto.

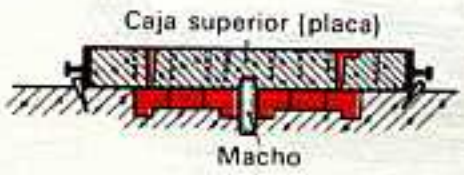


Figura 3-67. Molde abierto con placa superior.

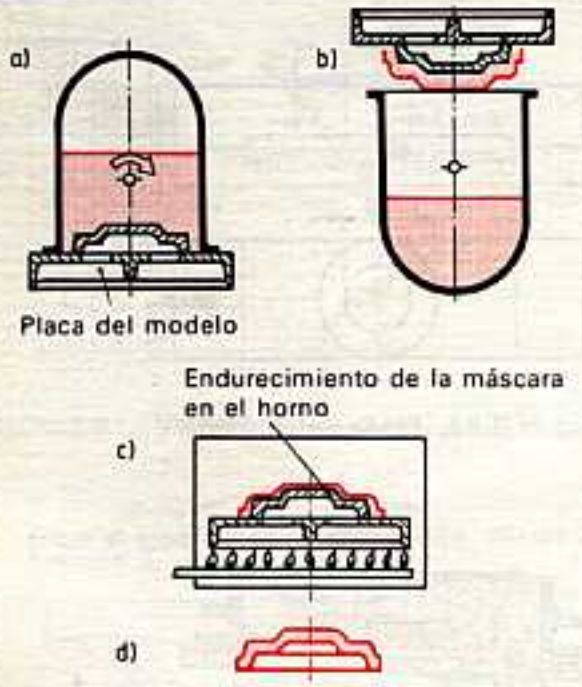


Figura 3-68. Método de moldeo con máscara.

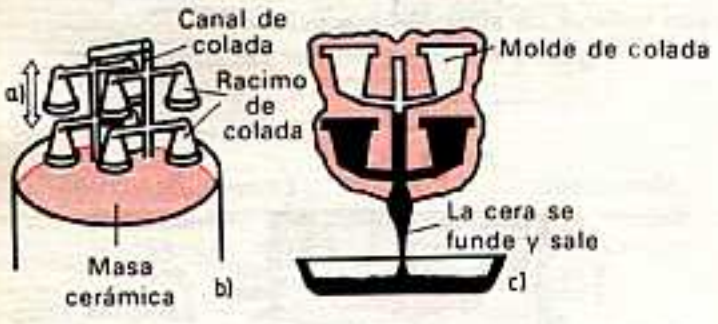


Figura 3-69. Método de fusión de cera.

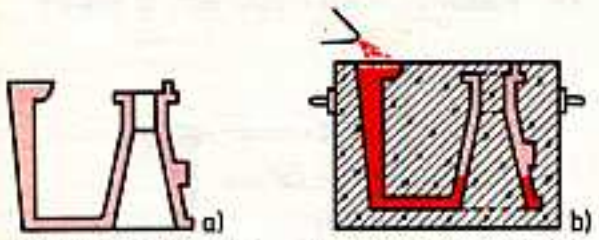


Figura 3-70. Método de colada con molde lleno.

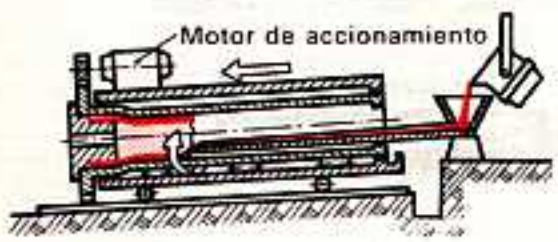


Figura 3-71. Fundición centrifugada — Colada en moldes permanentes.
Las coquillas o los canales de colada pueden desplazarse en sentido longitudinal.

modelo para formar el semimolde terminado (d). El método es económico y puede automatizarse.

FUNDICIÓN CON MODELOS PERDIDOS

Método de fundición de precisión

Se utiliza mucho el método de fundición de cera. Para ello, primero se funde el modelo de cera por el método de inyección (a). Los modelos de cera se reúnen para formar un «racimo de fundición» uniéndose todos al embudo de colada a través de los conductores. Los modelos de cera se sumergen en una masa cerámica o se impregnan con ella de modo que se forme una cáscara alrededor del modelo (b). El molde así preparado se mete en una estufa de caldeo con lo que la cera se funde y se elimina (c). En el molde así formado se vierte el material fundido. Este método permite una gran precisión de dimensiones (para una pieza de 115 mm de longitud, aproximadamente ±0,12 mm), y una buena calidad de la superficie (profundidad de las asperezas 25 μm). Así puede prescindirse, en muchos casos, de un laborioso trabajo de rectificación.

Método de molde lleno

Al efectuar la colada desaparecen los modelos insertos en el molde. Para la construcción de los modelos suele utilizarse espuma de plástico gasificable. Esta espuma es barata y puede cortarse con un alambre caliente. También puede fundirse el plástico directamente para formar los modelos (a). El modelo se coloca en arena para moldear con aglomerante plástico de endurecimiento en frío. Al efectuar la colada, el modelo se mantiene en el molde y se gasifica a través de la corriente caliente de fundición (b).

El método es económico ya que lo es la preparación del modelo; los modelos son de una sola pieza y así no dan rebabas en la colada.

FUNDICIÓN EN MOLDES PERMANENTES

En general, la fundición se hace en coquillas o lingoteras. La coquilla es molde permanente y está construida con fundición gris de calidad o de acero aleado. Por lo tanto, su construcción es bastante más cara que la de un molde de arena. Por ello, la fundición en coquilla sólo resulta económica si hay que fabricar un número elevado de piezas.

Fundición estática

El material fundido se vierte en el molde, previamente calentado, por medio de un caldero de colada. Los gases que se forman escapan a través del alimentador y de las juntas del molde.

Fundición centrífuga

Este método es económicamente apropiado para la fabricación de tubos, cuerpos cilíndricos y para fundir casquillos de cojinete. El vertido en el molde y la solidificación del material en fusión se producen con la coquilla en rotación bajo la acción de la fuerza centrífuga. De esta manera, la fundición es compacta y de grano fino.

Fundición a presión

La fundición a presión es una fabricación económica cuando el número de piezas es muy elevado. Su aplicación es para la fundición de

metales no férreos. El metal, en estado pastoso, se introduce a presión en moldes permanentes de varias piezas. Durante la solidificación se mantiene la presión. Las operaciones de un proceso de fundición de este tipo son: cierre del molde, introducción del metal a presión, apertura del molde y expulsión de la pieza.

La fabricación se realiza con una precisión de dimensiones que llega a 0,1 mm para un número de piezas de 400 y más por hora. En comparación con la fundición de arena, los gruesos de las paredes pueden ser menores, por lo que se consigue ahorro de material. A las ventajas económicas se les oponen los inconvenientes del elevado coste de los moldes y el peligro de porosidad de las piezas fundidas por inclusiones de aire. Hay que distinguir dos métodos: 1.°, el método de cámara caliente y 2.°, el método de cámara fría.

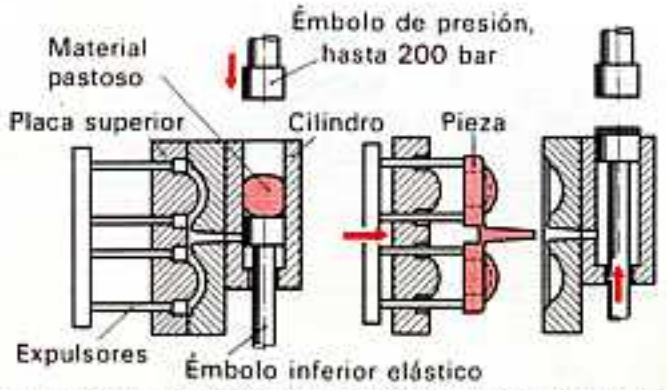


Figura 3-72. Fundición a presión, método de la cámara fría.

Fundición compound

Las piezas de fundición gris o de acero colado se trasiegan con otro metal, por ejemplo, aluminio o cobre. En las superficies de la mazarota, los metales se tienen que unir entre sí por difusión. En la fundición compound o compuesta cada metal conserva sus propiedades. Así, en los cojinetes de fricción, el cuerpo base de acero mantiene su resistencia y la capa que lo recubre, de aleación de Cu-Sn, mantiene sus propiedades deslizantes.

PROCESO DE FUNDICIÓN

El metal que llega a los hornos de fusión se vierte en el molde con calderos manejados a mano, con horquillas o con grúa. El embudo de colada debe mantenerse siempre lleno durante el proceso de colada porque, de lo contrario, se podrían arrastrar partículas de escorias o aire por la formación de remolinos. Se da por terminada la colada cuando queda lleno el alimentador. Cuando se ha enfriado lo suficiente, se destruye el molde, se saca la pieza y se limpia.

Procesos de solidificación. La pieza fundida, al enfriarse, se hace primero viscosa, luego plástica y por último sólida. Hay que diferenciar pues tres fases:

1. **Fase de contracción fluida.** Se aprecia por el descenso del nivel de líquido en el alimentador.
2. **Contracción de solidificación.** Se produce durante la solidificación y se llega a formar un embudo. Este embudo no debe quedar en la pieza, sino en el alimentador para impedir que se produzcan cavidades de contracción.
3. **Contracción lineal.** Es la última fase de la solidificación hasta alcanzar la temperatura ambiente. Esta contracción se tiene en cuenta en el modelo utilizando la escala de contracción. Las cuantías de contracción longitudinal son del 2% para el acero colado, del 1% para la fundición gris, del 1,25% para el aluminio y del 1,5% para la fundición de aleaciones de CuZnSn, aproximadamente.

Ejemplo:

Longitud de la pieza fundida acabada (acero) $l_0 = 450$ mm. Cuantía de contracción 2%. Longitud necesaria para el modelo (modelo de color azul):

$$l_1 = l_0 + 2/100 \cdot l_0; \quad l_1 = 450\ \text{mm} + \frac{2}{100} \cdot 450\ \text{mm} = 459\ \text{mm}$$

La escala de contracción tiene una longitud real de 459 mm cuando la lectura indica 450 mm.

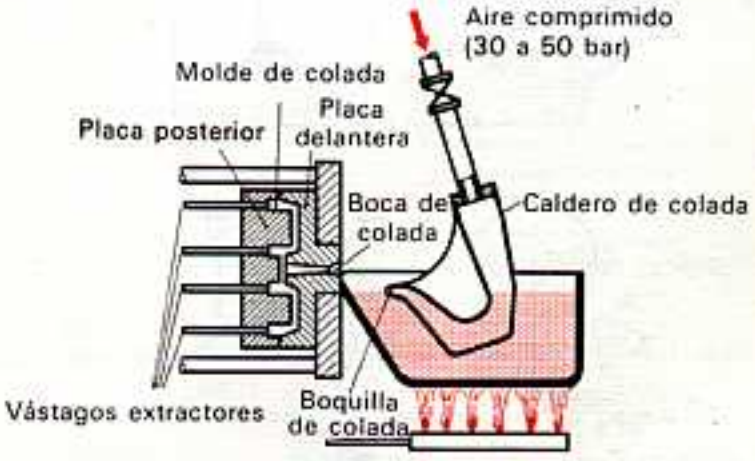


Figura 3-73. Fundición a presión, método de la cámara caliente.



Figura 3-74. Procesos de solidificación.

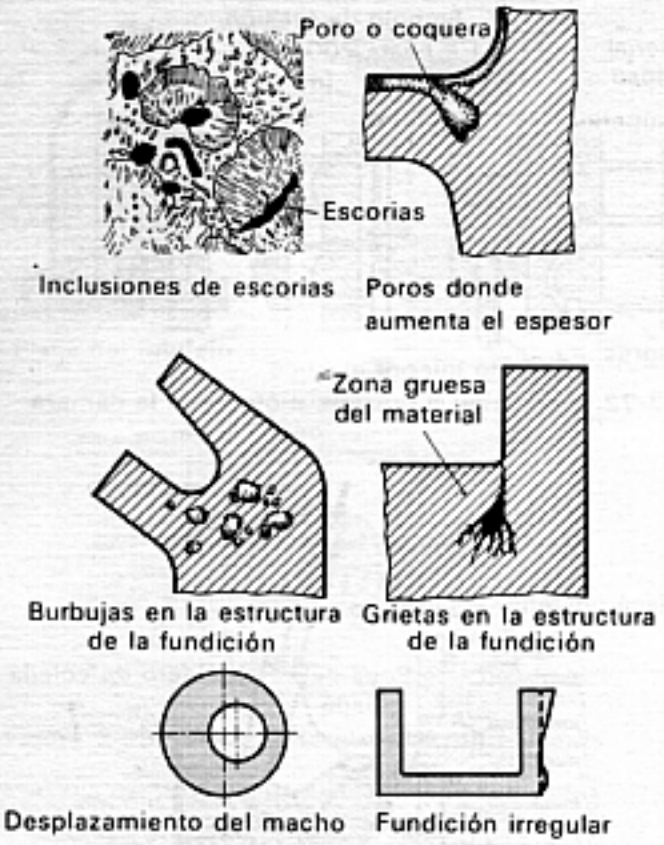


Figura 3-75. Defectos en la fundición.

DEFECTOS EN LA FUNDICIÓN

Inclusión de escorias. Las escorias y los óxidos metálicos no se han retenido al efectuar la colada. El embudo de colada no se ha mantenido lleno durante el vertido.

Poros en la estructura de la fundición. El material fundido no se ha solidificado uniformemente. La solidificación se produce de fuera hacia adentro. En los lugares más gruesos de la pieza se forma así un hueco al que se denomina poro o cavidad. Para evitarlo, conviene que las piezas fundidas tengan un espesor uniforme de pared (principio de construcción).

Burbujas en la estructura de la fundición. La arena de moldear húmeda desprende hidrógeno y oxígeno a la temperatura de colada y estos gases penetran en la estructura del material.

Grietas en la pieza de fundición. Los cambios de sección se han hecho constructivamente demasiado cortos por lo que la solidificación de las zonas gruesas del material se efectúa con demasiada lentitud. Para evitar grietas y poros, en los puntos de mayor sección se alojan en el molde unos hierros de enfriamiento. De esta manera puede controlarse el proceso de enfriamiento.

Desigualdad de espesor de las paredes. La pieza tiene espesores desiguales en dos zonas enfrentadas. El macho se ha desplazado durante la colada.

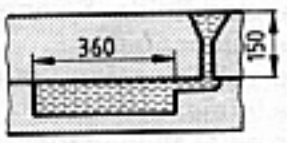
Zonas marginales regruesadas y abombamientos redondeados. Si el molde no se ha compactado suficientemente, cede bajo la presión del material de fundición.

Ejercicios

Formación de brutos

Procesos físicos

1. Explicar las formas posibles que existen de producir calor.
2. Explicar las diferencias entre las escalas de temperaturas de Celsius y Kelvin.
3. Explicar la construcción y funcionamiento del termómetro de líquido.
4. Convertir 20°C en K y 293 K en °C.
5. Explicar cómo indica la temperatura un termómetro bimetálico.
6. A 20°C, dos varillas, una de aluminio ($\alpha = 0{,}000024$ m/m · K) y otra de acero ($\alpha = 0{,}000012$ m/m · K) tienen una longitud de 1,2 m. ¿Qué dilatación experimentarán calentándolas hasta 120°C?
7. Un anillo de acero de 400 mm de diámetro se calienta a 200 K. ¿Qué diámetro tendrá entonces? ($\alpha = 0{,}0000$ a 200 K. ¿Qué diámetro tendrá entonces? ($\alpha =$ 0,000012 m/m · K).
8. Dar ejemplos de transformación de energía mecánica y eléctrica en calor y viceversa.
9. ¿Qué indica la magnitud para el acero $c = 0{,}478$ kJ/(kg · K)?
10. Al calentar una pieza ¿cómo se modifica la energía que hay que aportar con las magnitudes m, c y $\Delta\vartheta$?
11. Dar ejemplos de conducción de calor, flujo de calor y radiación de calor.
12. ¿Cómo se explica la dilatación lineal por el calor y de qué magnitudes depende?
13. Una pieza de acero de $m = 50$ kg a 65°C se introduce, para eliminar las tensiones, en un horno de recocido a 550°C. Calcular la cantidad de calor necesaria, $c = 0{,}67$ kJ/(kg · K), sin tener en cuenta las pérdidas.
14. Se aporta una cantidad de calor de 800 kJ a una pieza de acero de 40 kg. ¿A qué grado de temperatura se calienta la masa?
15. ¿Qué cantidad de calor se libera al enfriar 100 kg de hierro fundido de 400°C a 20°C? $c = 0{,}7$ kJ/(kg·K).
16. ¿Qué afirmación es la correcta? La presión de un líquido depende de su volumen, de la altura del líquido, de la superficie del fondo, o de la densidad del líquido.



17. En los metales fundidos en estado líquido, las impurezas se desplazan hacia arriba. Explicarlo.
18. Para una tapa de acero colado ($\rho = 7700$ kg/m³) de 360 × 30 mm, calcular la presión y la fuerza de compresión contra la superior.
19. Un chorro de líquido cae libremente en un embudo de colada, desde una altura $h = 15$ cm. Calcular la velocidad remanente.
20. En una corriente laminar con $v_1 = 1{,}5$ m/s, la sección de paso aumenta de $S_1 = 3$ cm² a $S_2 = 5$ cm². Calcular la velocidad de la corriente y el caudal en la parte de sección ensanchada.

Formación de brutos por fundición

21. ¿A qué se llama modelo en fundición?
22. ¿Por qué no sirve para el acero moldeado un modelo construido para fundición gris?
23. Explicar la diferencia entre fundición con molde perdido y fundición con modelo perdido.
24. Explicar la diferencia entre los métodos de fusión de cera y de fundición con molde lleno.

25. Comparar, desde el punto de vista económico, la «fundición con molde permanente» y la «fundición con molde perdido».
26. La fundición centrifugada se caracteriza por su estructura compacta. Explicarlo.
27. El método de fundición a presión es más adecuado para sistemas de trabajo automáticos. Explicar por qué.
28. En la fundición a presión, comparar los principios del método de cámara caliente y del método de cámara fría.
29. Explicar las fases más importantes de la solidificación de un material fundido.
30. ¿Cuál puede ser la causa de la formación de poros, burbujas y grietas en las piezas de fundición?
31. En los moldes de arena, las cajas de molde se cargan o se embridan. Explicar por qué.

3.3 Conformación

3.3.1 Conformación por fuerzas de tracción y compresión

Conformar es fabricar modificando plásticamente la forma de un cuerpo sólido. Esto puede hacerse por tracción, compresión o flexión, en caliente o en frío.

CONFORMACIÓN POR COMPRESIÓN CON RODILLOS

En el laminado, la pieza se conforma de modo contínuo o por fases, aplicándole una compresión por medio de herramientas giratorias.

Para la fabricación de productos laminados, el acero se funde en moldes para lingotes (coquillas o lingoteras) en los que se solidifica para formar lingotes del tamaño deseado, que se colocan luego en hornos de foso para igualar las temperaturas. Los lingotes, uniformemente recocidos (aproximadamente 1200°C) se llevan al tren de laminación para formar chapas, perfiles laminados de acero, alambre o tubos.

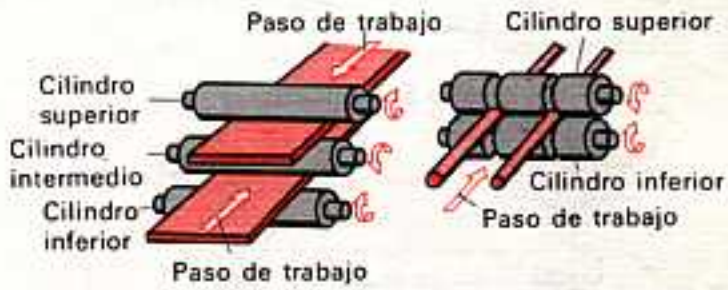


Figura 3-76. Fabricación de chapas y varillas de acero.

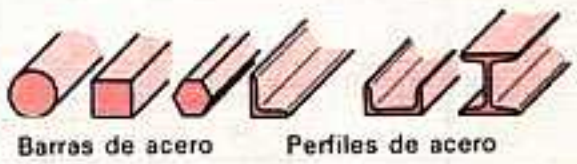


Figura 3-77. Productos de un tren de laminación.

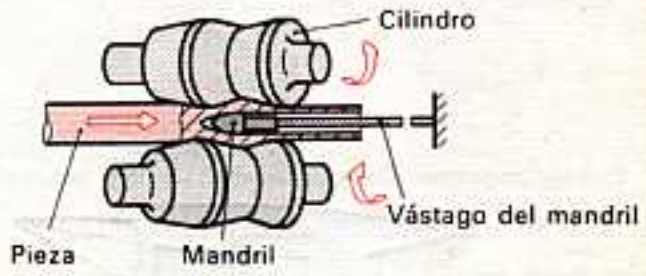


Figura 3-78. Laminación de tubos con mandril.



Figura 3-79. Aspecto de las fibras en las piezas torneadas y en las laminadas.

Fabricación de perfiles laminados y chapas

En el tren laminador duo existen dos cilindros accionados en sentidos opuestos. Estos cilindros pueden ser lisos para la fabricación de chapas y placas o perfilados para la fabricación de perfiles laminados.

En el tren de laminación duo los tiempos de enfriamiento son grandes porque después de cada pasada los cilindros tienen que girar en sentido contrario.

En el tren laminador trio se evita el cambio de sentido de giro de los cilindros mediante la colocación de un tercer cilindro.

Fabricación de tubos

En el tren laminador oblícuo Mannesmann, dos cilindros en forma de doble cono hacen girar el lingote, lo abatanan y abren el núcleo. El cuerpo hueco que se forma adquiere la dimensión deseada laminándolo por medio de un mandril (Método «a paso de peregrino»).

CONFORMACIÓN SIN ESTAMPA (FORJA)

La forja es un procedimiento de fabricación en el que la pieza, generalmente caliente, se conforma por medio de esfuerzos de compresión.

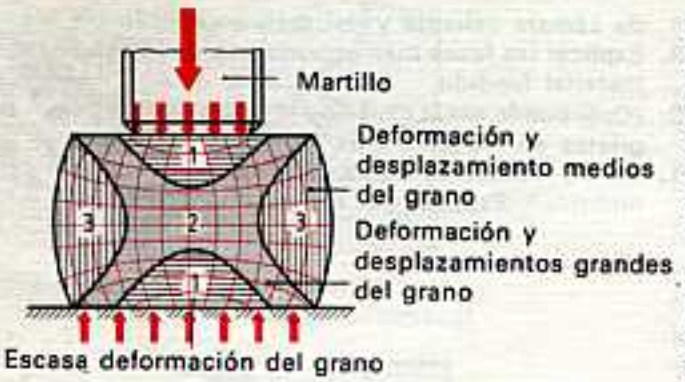


Figura 3-80. Modificación de la estructura en la forja.



Figura 3-81. Fragua.

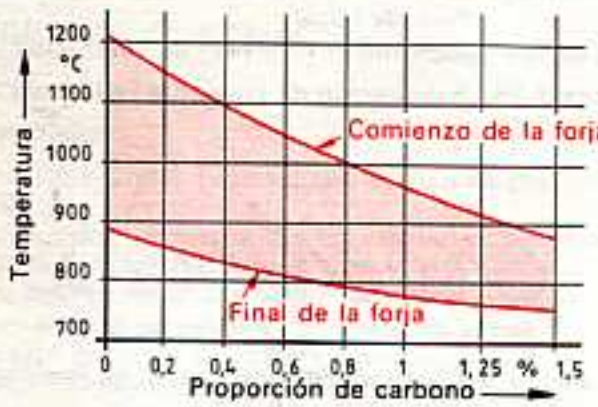


Figura 3-82. Temperatura de forja de los aceros no aleados.



Figura 3-83. Yunque.

Modificación de la estructura interna por la forja

Las piezas forjadas tienen una disposición de las fibras más favorable que las fabricadas por arranque de viruta y pueden someterse a solicitaciones mayores. La forjabilidad del acero se reduce al aumentar el contenido de carbono. El azufre hace al acero quebradizo en caliente; el fósforo lo hace quebradizo en frío.

Al forjar, se rebasa el límite elástico del material. Los granos no sólo se deforman, sino que se desplazan, deslizándose sobre los límites entre granos y cambiando de lugar, sin perder la cohesión. Según la figura, el material de las zonas 1-1 experimenta menor deformación de los granos, en la zona 2 la deformación es mayor, lo mismo que el desplazamiento de los granos y en la zona 3-3 la deformación y el desplazamiento vuelven a ser menores.

Dispositivos de caldeo

Fragua de forja: Sirve para calentar piezas pequeñas. Como combustible se utiliza hulla granulada con poco azufre que arde muy bien. De esta manera, el calor se mantiene en el interior del fuego y se evita la oxidación de la pieza a forjar.

Hornos de forja: Sirven para calentar piezas grandes. Se caldean con gas o con gasóleo.

Temperatura de forja

La temperatura de forja depende del material. Conviene que la forma final se dé a las piezas con el mínimo caldeo posible ya que, si el calentamiento es demasiado prolongado o demasiado fuerte, la estructura del acero se hace de grano grueso, quebradizo y poco resistente. Al rojo blanco, el acero comienza a chisporrotear y se oxida. El acero quemado no puede ya utilizarse. En la zona del calor de temple azul (290°C a 350°C), la ductilidad del acero es muy baja. En la conformación en frío se producen tensiones en las cristalitas que, comenzando con una consolidación, acaban formando fisuras.

Las fisuras de tensión aparecen también cuando el calentamiento es demasiado rápido porque la diferencia de temperaturas entre las capas interior y exterior de la pieza se hace muy grande. El calentamiento del acero hasta unos 700°C se hace muy lentamente; por encima de esta temperatura hay que hacerlo con rapidez para evitar la descarburación de la capa marginal y la formación de grano grueso. El enfriamiento de las piezas forjadas hay que hacerlo lenta y uniformemente. Las tensiones pueden reducirse por medio del recocido.

El cobre puro se forja en frío; el aluminio entre 400°C y 500°C.

Oxidación de los materiales

Los materiales caldeados se combinan en su superficie con el oxígeno del aire. Se forma una capa de cascarilla (batiduras o escamas del hierro) que se desprende fácilmente. La pérdida de material debida a la capa de cascarilla se denomina **pérdida o merma por combustión.**

Herramientas para la forja

El **yunque** es de acero de construcción, la tabla del yunque es una placa de acero endurecido soldada al yunque.

Como **martillos** se necesitan los siguientes: Martillo de mano de 1 a 2 kg, martillo macho o martillo de herrero de 4 a 12 kg, y martillo destajador para picar las escorias en determinados lugares. El trabajo de conformación necesario se realiza por medio del peso del martillo, y aún más por la velocidad de impacto. Un martillo de doble peso

tiene doble capacidad de conformación, pero un martillo de igual masa cayendo desde el doble de altura tiene en el impacto el cuádruplo de la energía cinética.

Las tenazas de herrero tienen las ramas muy largas y han de ser elásticas para que la mano no sufra calambres al sujetarlas. La boca de las tenazas ha de ser la apropiada para sujetar el perfil de la pieza.

Método de forja sin estampa (forja a golpe de martillo)

Estirar es forjar a golpe de martillo, con lo que la sección transversal o el espesor de la pieza se va reduciendo gradualmente y la pieza se ve forzada a estirarse en dirección longitudinal preferentemente.

Planear o alisar es estirar con poca reducción de sección para conseguir superficies lisas.

Escalonar o rebajar es estirar para conseguir un cambio brusco de sección. Se practica una entalladura o acanaladura en la pieza y desde allí al final se forja para conseguir la sección deseada.

Recalcar es forjar a golpe de martillo reduciendo una de las dimensiones de la pieza. Si sólo hay que recalcar una zona determinada, esta zona se caldea antes de comenzar la forja sin estampa.

Repujar es forjar a golpe de martillo para producir cuerpos de chapa planos o huecos por medio de un estirado local, con lo que se reduce el espesor de la chapa.

Abombar es forjar a martillo una chapa mediante un estirado gradual localizado para curvarla. El espesor de la chapa se reduce.

Al forjar con martillo hay que tener en cuenta lo siguiente:

El acero de construcción ha de calentarse hasta el rojo blanco y el acero para herramientas hasta el rojo cereza.

Lo primero que hay que forjar son las zonas que se enfrían con más rapidez.

Antes de forjar hay que eliminar la cascarilla.

El martillo debe estar fuertemente sujeto al mango.

El golpe circular es peligroso, no debe darse nunca.

Para sujetar la pieza deben utilizarse tenazas con anillo de seguridad.

Las tenazas no deben sujetarse contra el cuerpo.

CONFORMACIÓN POR COMPRESIÓN EN ESTAMPA

En la conformación en estampa, las herramientas de conformación (estampas) se mueven la una contra la otra. La estampa abraza o rodea la forma de la pieza que se ha de fabricar.

Si la pieza a conformar en estampa se calienta hasta la temperatura de forja, se habla de forja en estampa.

Las estampas son moldes permanentes en los que la pieza preconformada se bate o comprime en frío o al rojo y toma así la forma del hueco de la estampa. Las piezas muy grandes o de formas muy variadas se forjan en estampa en varias operaciones (cigüeñales, bielas). Ventajas: costes de fabricación bajos, mejor exactitud de dimensiones, superficies limpias.

Como el coste de fabricación de las herramientas es muy elevado, la forja con estampa sólo es apropiada para la fabricación de grandes series. Los materiales empleados en las piezas forjadas en estampa, son los aceros aleados y sin aleación, el cobre y sus aleaciones y las aleaciones de magnesio.

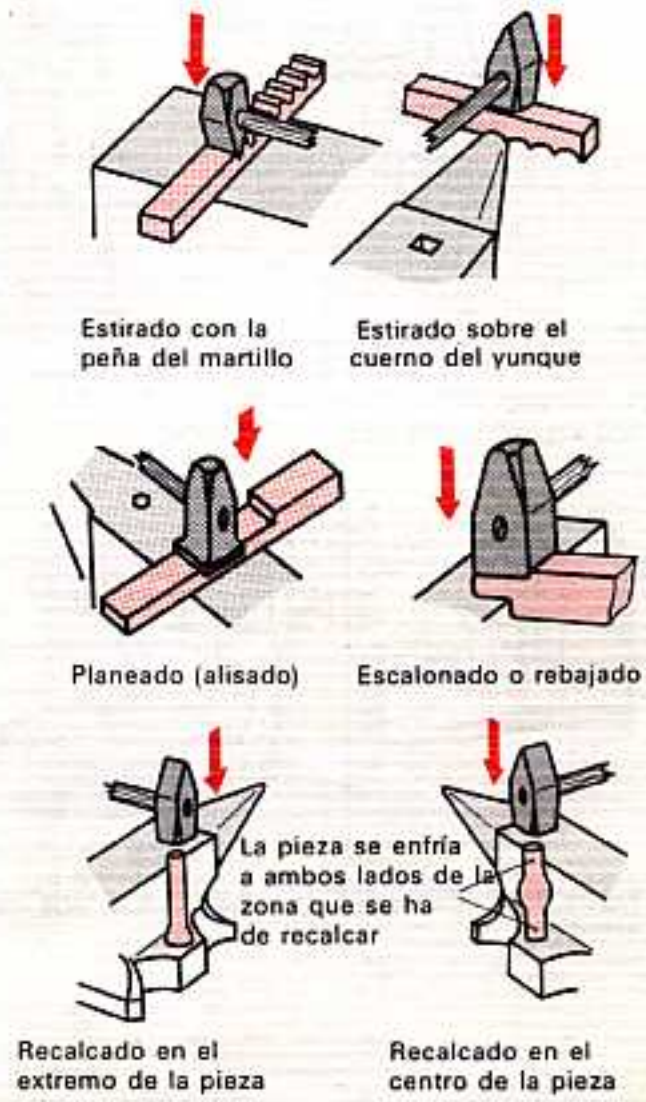


Figura 3-84. Forja sin estampa.

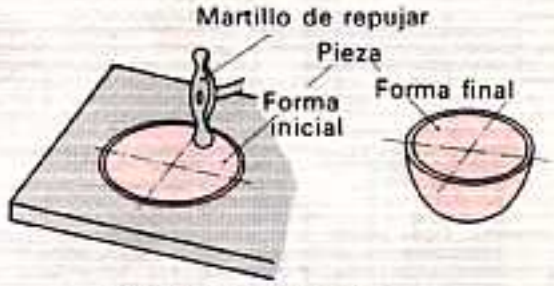


Figura 3-85. Repujar.

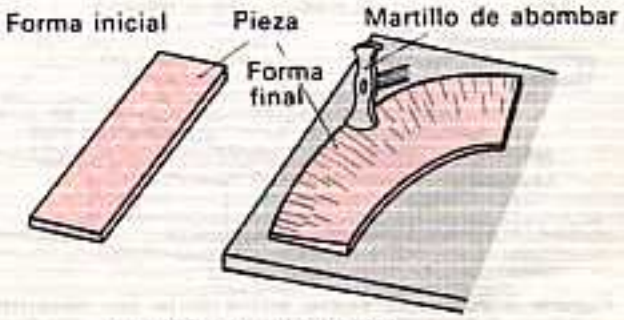


Figura 3-86. Abombar.

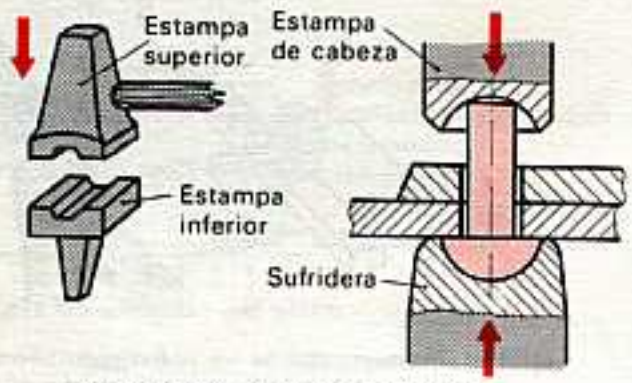


Figura 3-87. Molde de estampa.

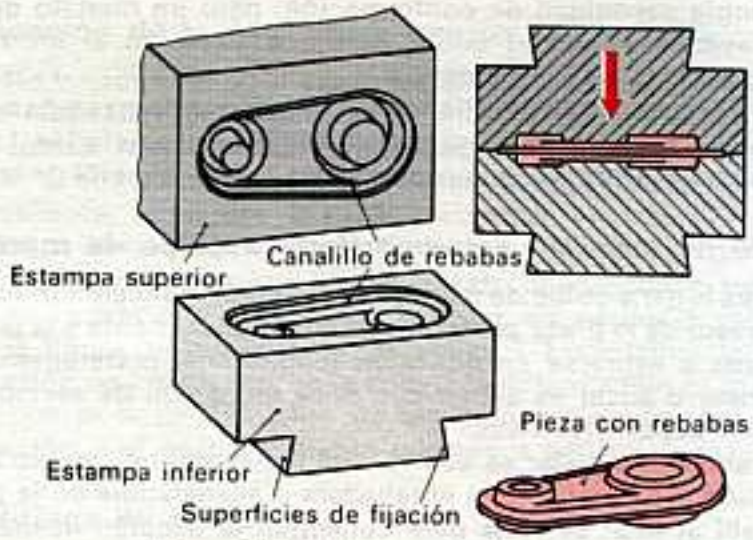


Figura 3-88. Estampa de forja con pieza.

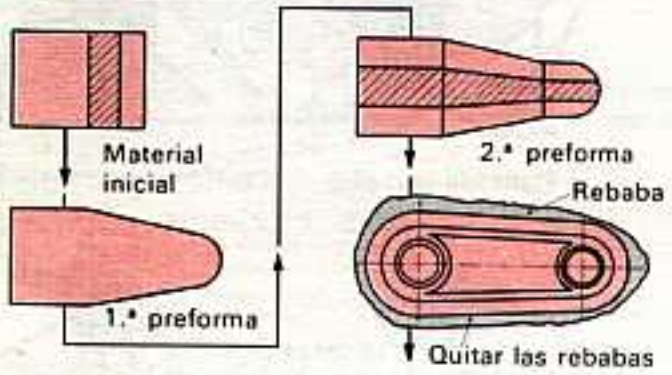


Figura 3-89. Secuencia de trabajos en la forja con estampa.

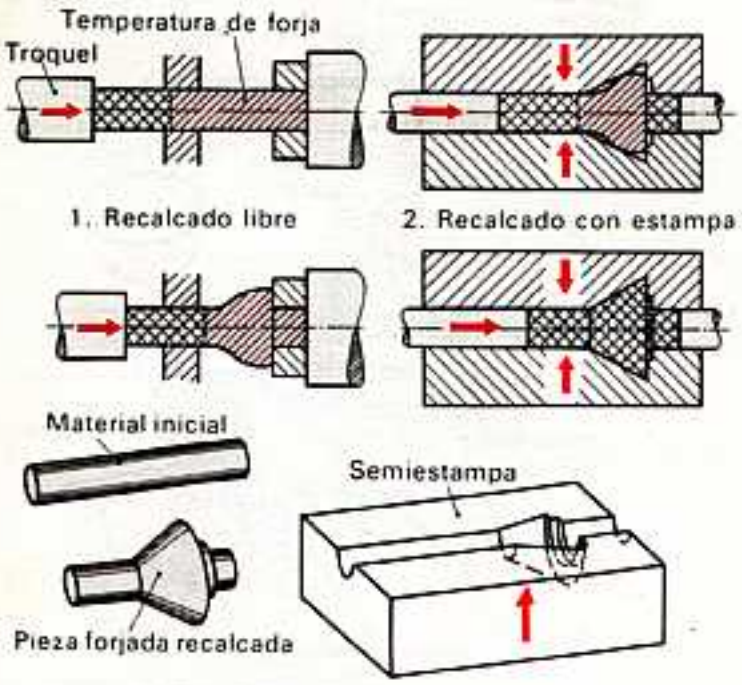


Figura 3-90. Diferencia entre forja sin estampa y con estampa.

Materiales: Para las estampas planas son adecuados los aceros al carbono templados al agua (0,9% de contenido de C); si las modificaciones de forma son muy grandes, se utilizan aceros aleados con adiciones de cromo, níquel y molibdeno. Las zonas huecas se fresan de la pieza maciza. Para que las piezas terminadas se puedan retirar fácilmente de la estampa, ésta debe llevar inclinaciones laterales (moldes interiores 1:5, moldes exteriores 1:10). Como el material al enfriarse se contrae, y la estampa, al calentarse por el contacto con la pieza, se dilata, deberán tenerse en cuenta dimensiones de contracción con exceso de 1,2 al 1,5%.

Compresión en molde — Secuencia de trabajo

Forja sin estampa, forma previa —forja en estampa— recocido para eliminar tensiones.

La forja sin estampa realiza el principal trabajo de conformación previa y en el molde intermedio con objeto de que la estampa de acabado no sufra tanto en sus formas y dimensiones exactas.

Recalcado en molde

Con él se aumenta la sección del material inicial.

Las máquinas recalcadoras llevan las dos mordazas de las estampas una contra otra; de esta manera sujetan fuertemente el material bruto y el troquel colocado en el carro recalcador recalca la pieza. Las operaciones se realizan con un solo calentamiento.

Ventajas frente a la forja en estampa: ausencia de inclinaciones de la estampa; económico, ya que la pérdida de material por merma de combustión es menor.

CONFORMACIÓN POR EXTRUSIÓN

La pieza se obliga a pasar, total o parcialmente, por una abertura de la herramienta. La conformación se produce por deformación plástica con reducción de la sección o del diámetro.

Prensas de extrusión

El material caldeado se comprime mediante un émbolo contra una boquilla y sale con la forma de ésta, bien sea macizo o cubriendo otras piezas, como por ejemplo, envolturas de cables.

Prensas de embutición

Con ellas se fabrican cuerpos huecos de paredes delgadas a partir de discos (platinas) aprovechando la capacidad de fluencia de determinados materiales.

Los más apropiados son el plomo, el zinc, el cobre, el aluminio y las aleaciones de aluminio y CuZn.

Se coloca en una matriz una platina con la forma de la sección de la pieza terminada. El diámetro del troquel o punzón ha de ser menor que el diámetro de la matriz en una cuantía igual al doble del espesor de las paredes del cuerpo hueco que se ha de fabricar. El portantil de la prensa oprime el troquel contra la platina. De esta manera, el material se ve obligado a fluir por la ranura anular que queda entre el troquel y la matriz forzado por el movimiento del troquel. La fluencia del material se facilita colocando un cono redondeado en el frente del troquel o abombándolo ligeramente. El diámetro del troquel ha de ser unos 0,2 mm menor que el diámetro del canto de inyección. Al retirarse el troquel, un rascador tira de la pieza hacia abajo. Con las prensas de embutición se fabrican tubos, latas y otros cuerpos huecos de paredes delgadas con buena rentabilidad.

CONFORMACIÓN POR ESTIRADO DE DESLIZAMIENTO Y EMBUTICIÓN PROFUNDA

El estado plástico de un cuerpo para su conformación se logra por medio de fuerzas combinadas de tracción y compresión. Al estirar la pieza se hace pasar por una estrecha abertura de la herramienta; en la embutición profunda, un trozo de chapa se conforma como cuerpo hueco sin modificar intencionadamente el espesor de la chapa.

Estirado

En el **estirado por deslizamiento,** la pieza se hace pasar, a tracción, por una herramienta de trefilado fija (hilera o anillo estirador).

En el **estirado por laminación,** la abertura está formada por cilindros. La pieza puede ser maciza o hueca.

Por medio del estirado por deslizamiento de cuerpos macizos se obtienen alambres y varillas.

El **estirado de alambres** hasta 5 mm de grueso se hace en máquinas de estirar alambre (trefiladoras). El alambre se hace pasar, tirando de él, por un anillo estirador con cabezal en forma de cono, hasta que se ha conseguido la sección deseada. Los alambres muy finos se hacen pasar por hileras de metal duro o de diamante. Como los cristales del material se deforman, el material se endurece y hay que recocerlo.

Por medio del estirado por deslizamiento de cuerpos huecos se obtienen cojas y tubos.

Para el estirado por deslizamiento de trozos de tubo se comprime un troquel cilíndrico contra un lingote cuadrangular, calentado al rojo blanco, que está en una matriz cilíndrica. De esta manera se forma un cilindro hueco con fondo (copa). La copa precomprimida se coloca en un mandril y se empuja a través de varios anillos estiradores de calibres decrecientes. El cuerpo hueco va teniendo cada vez paredes más delgadas a igualdad de diámetro interior.

Embutición profunda

Para la embutición profunda se necesita una matriz de embutición que puede ser abierta (anillo de embutición) o cerrada (molde de

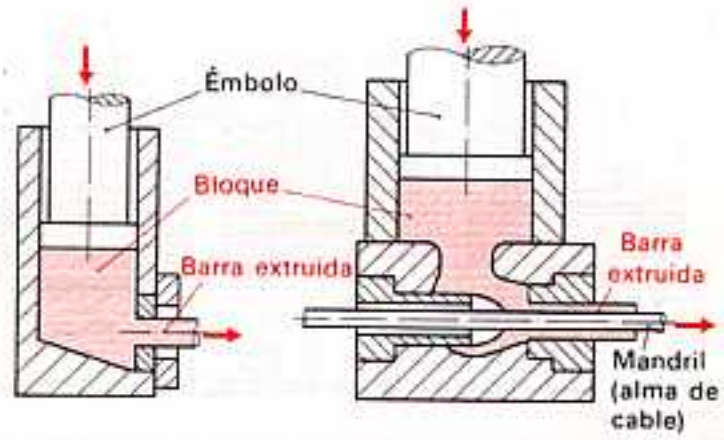


Figura 3-91. Prensa de extrusión piezas macizas (iz.).
Figura 3-92. Prensa de extrusión piezas huecas (der.).

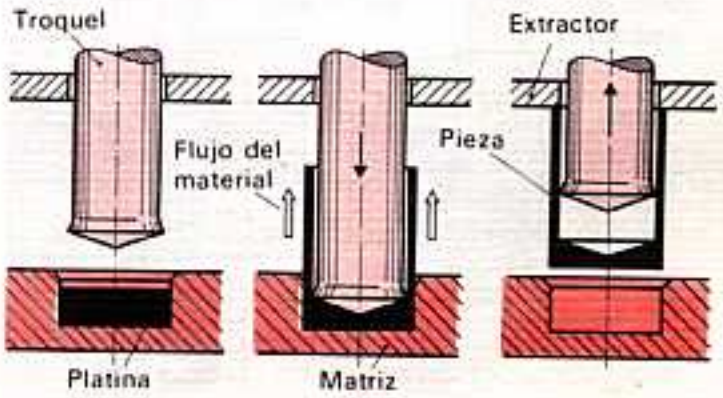


Figura 3-93. Prensas de embutición para fabricar cuerpos huecos de paredes delgadas.

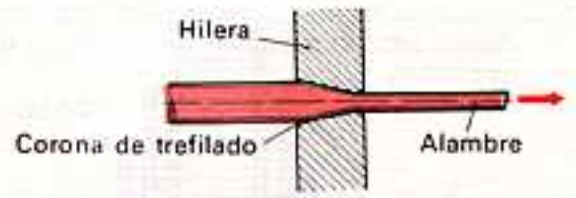


Figura 3-94. Estirado por deslizamiento de cuerpos macizos (trefilado de alambres).



Figura 3-95. Fabricación de la copa.

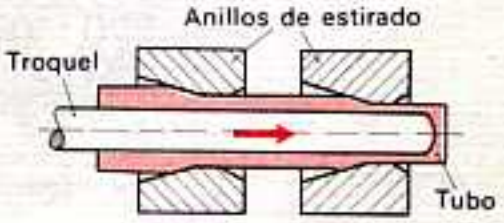


Figura 3-96. Estirado por deslizamiento de un tubo.

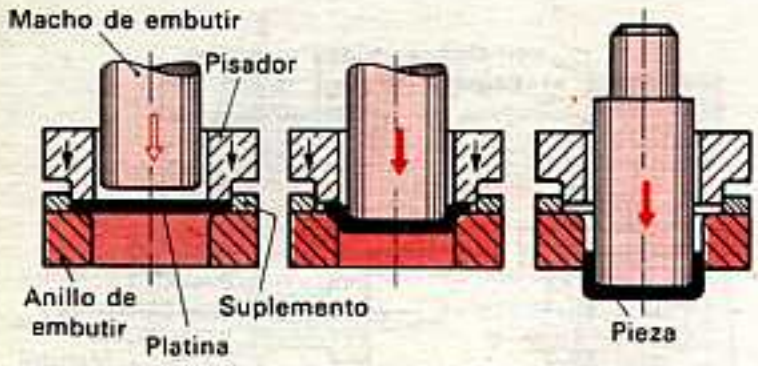


Figura 3-97. Embutición profunda de un cuerpo hueco sencillo.

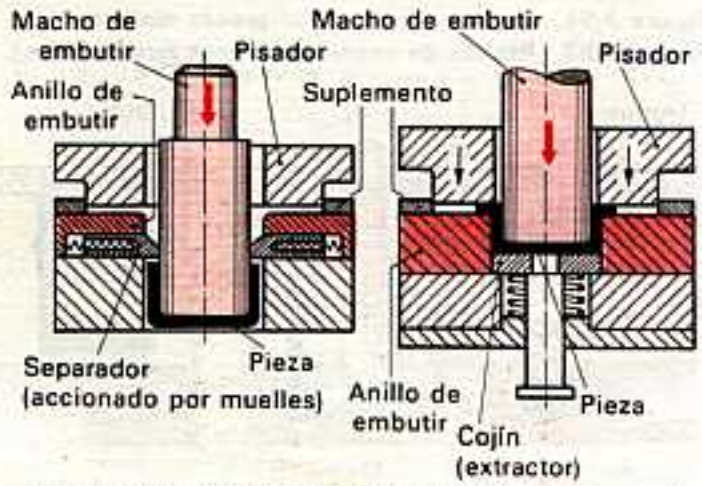


Figura 3-98. Herramienta de embutir con separador. Herramienta de embutir con extractor (der.).

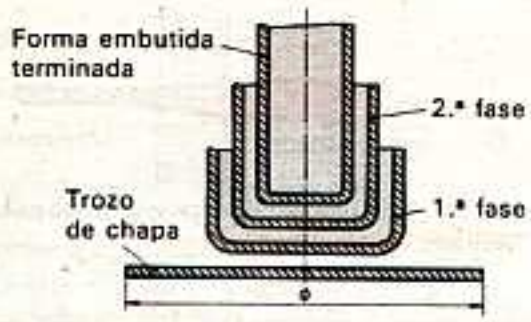


Figura 3-99. Conformación en varias fases de embutición.

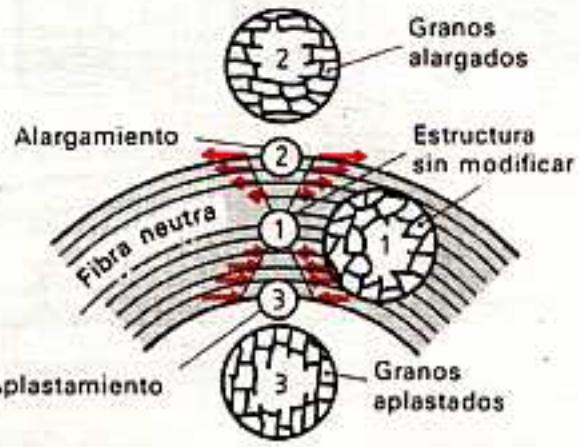


Figura 3-100. Modificación de la estructura del material en el doblado.

embutición). En la embutición profunda con herramientas, el material se comprime con un troquel para hacerlo pasar por el anillo de embutición. En la embutición profunda con medios activos, el material se embute en una matriz rígida. Los medios activos pueden ser líquidos, gases, campos magnéticos, etc.

Embutición profunda con herramienta rígida:

La herramienta de embutir está formada por el macho o punzón de embutir, el anillo de embutir y el pisador.

Un dispositivo sujeto al anillo de embutir centra el disco de material (platina).

El pisador mantiene sujeto el material, y luego el punzón o macho, que va hacia abajo, embute la pieza a través de los cantos redondeados del anillo de embutir.

Si el cuerpo hueco tiene que embutirse totalmente por el anillo de embutir, un rascador impide que la pieza sea arrastrada por el punzón en su movimiento de retroceso. Si la pieza conserva un borde en su parte superior, un extractor accionado por un muelle la empuja hacia arriba sacándola del anillo de embutir.

Sólo los materiales idóneos para la embutición puede resistir sin agrietarse o desgarrarse la intensa deformación. Estos materiales (chapa de acero para embutición profunda, chapa de CuZn (CuZn 37), chapa de cobre y chapa de aluminio), a pesar de su gran índice de alargamiento, han de tener también suficiente resistencia.

Las piezas cuya altura es grande en proporción a su sección, tienen que embutirse en varias etapas. El número de etapas se elige de modo que, por ejemplo, en las piezas cilíndricas el diámetro de embutición y, por tanto, el del punzón de embutir de la fase siguiente, sea, aproximadamente, $^1/_3$ menor que los de la fase anterior. El diámetro de la pieza embutida en la primera etapa debe ser, aproximadamente, $^1/_5$ menor que el del disco de chapa.

3.3.2 Conformación por momento flector

En el plegado, un cuerpo sólido se conforma plásticamente por la solicitación a flexión.

PROCESOS EN EL PLEGADO

Modificación de la estructura del material

La capacidad de flexión de un material depende de su ductilidad. Muchos metales y aleaciones se pueden curvar en frío, algunos, cuando el radio de curvatura es pequeño, han de calentarse antes a determinadas temperaturas. El zinc, por ejemplo, ha de calentarse a 150°C, y una aleación de magnesio lo ha de ser a 300°C.

En el plegado, las fibras del material de la cara interior se aplastan y las de la cara exterior se extienden. El concepto de fibras sirve para simplificar la explicación de los procesos que se producen en el material; en realidad, lo que se deforma es la estructura. Los granos del lado externo se estiran y los del lado interno se aplastan. Sólo se encuentra sin modificar la capa de fibra **neutra**. Cuando el radio de curvatura es muy grande, esta fibra se encuentra aproximadamente en el centro de la zona de flexión. Cuanto más pequeño es el radio de curvatura, más se desplaza del centro la fibra neutra.

En el grano, los átomos se ven obligados a pasar de su posición natural a otra nueva. La tensión de tracción de la capa exterior se aproxima así al límite de elasticidad, haciéndose perceptible la estricción en la zona de tracción de la pieza curvada. En la zona de compresión, el material se aplasta visiblemente hacia los lados. El

estiramiento y el aplastamiento de la estructura producen, por tanto, una deformación longitudinal junto a una deformación transversal. El alargamiento reduce la sección y el aplastamiento la aumenta.

Resistencia de la pieza al curvarla

La resistencia que opone la pieza a las fuerzas de flexión depende de la temperatura, del material, de las dimensiones de la sección y de su posición con respecto al eje de curvatura. La resistencia a la flexión se representa por R_{bB} y tiene como unidad N/mm².

La resistencia a la curvatura crece proporcionalmente a la anchura de la pieza. A doble anchura del material se estira o aplasta el doble número de fibras. En la flexión o curvatura de piezas según el plano de la superficie principal, a igualdad de radio de curvatura las fibras se estiran o aplastan mucho más, en comparación con las curvadas por el lado estrecho por lo que las fuerzas de flexión o curvatura necesarias han de ser también mayores.

Radio de curvatura

El radio de curvatura depende de la ductilidad del material, de su espesor, de la forma de la sección, del sentido de laminación y del calentamiento de la pieza.

Cuanto mayor sea el radio de curvatura, menor será el peligro de rotura.

Recuperación elástica en el plegado.

Al doblar una pieza, no todos los cristales de la zona curvada traspasan el límite de elasticidad. Cuando ya no actúan las fuerzas de flexión, estos cristales vuelven a su posición inicial y el material se recupera algo elásticamente. Esto se nota tanto más cuanto más elevado es el límite elástico del material y cuanto mayor es el radio de curvatura; por esta razón, la pieza ha de doblarse más de lo necesario.

PROCEDIMIENTOS DE CONFORMACIÓN POR PLEGADO

Plegado libre

La forma de la pieza se da libremente, por ejemplo, plegado a mano o en el tornillo de banco.

En las **chapas** (especialmente en las de metales ligeros y sus aleaciones) que han de doblarse, hay que fijarse, al hacer el trazado, en la dirección de laminación. Las generatrices de plegado han de quedar, a ser posible, en posición transversal a la dirección de laminación. Si siguen la dirección de laminación y el radio de curvatura es pequeño, se forman fisuras capilares en la cara exterior y algunos pliegues de aplastamiento en la cara interior.

Cuanto más acusado es el doblado, mayor es el peligro de fisuras. Al hacer el trazado conviene evitar siempre los efectos de entalladura.

Si hay que realizar plegados perpendiculares entre sí, es conveniente elegir la dirección de doblado de la chapa de modo que la pieza quede oblicua con respecto a ella, a ser posible formando un ángulo de 45°.

Ejemplo: Doblar una brida de pletina de acero.

Operaciones:

1. Trazar la pieza y doblarla en el tornillo de banco.

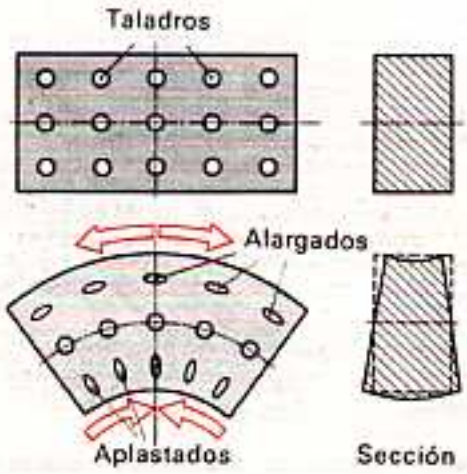


Figura 3-101. Modificación de la sección en el doblado.

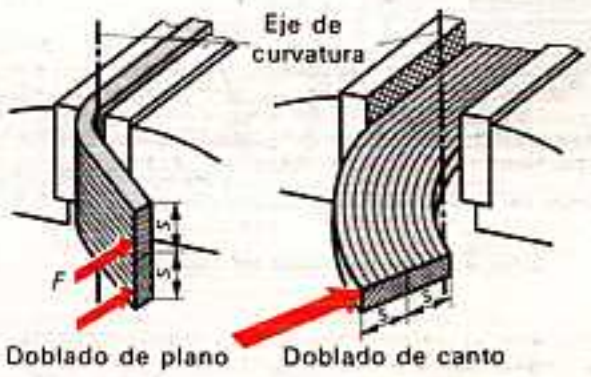


Figura 3-102. Resistencia al plegado en función del espesor del material y de la posición de la sección.



Figura 3-103. Ángulo de plegado que hay que conseguir: 90°.



Figura 3-104. Tener en cuenta la dirección de laminación al plegar.

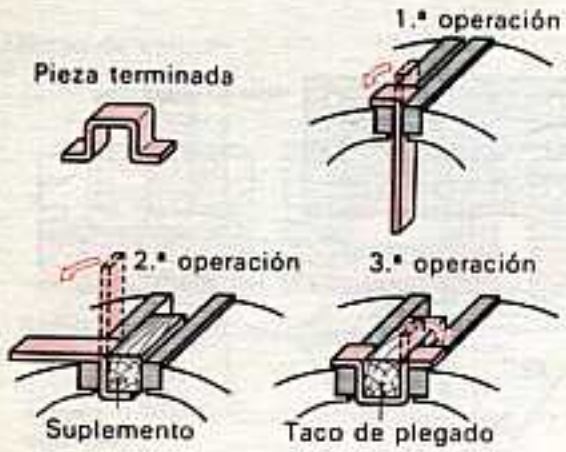


Figura 3-105. Plegado de una brida de pletina.

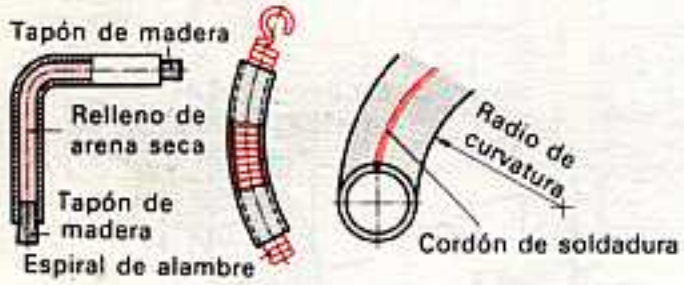


Figura 3-106. Curvado de tubos.

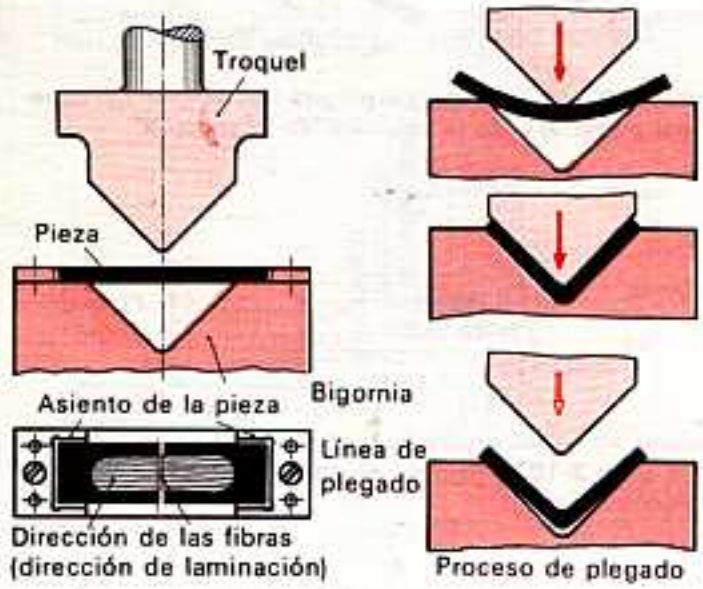


Figura 3-107. Trabajos con la bigornia.

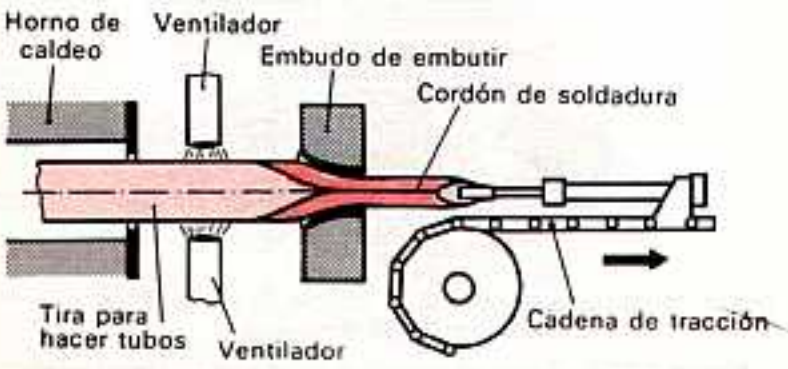


Figura 3-108. Plegado a tracción.

2. Trazar la altura y doblarla con ayuda de un suplemento.
3. Colocar el taco de doblado y doblar la otra patilla.

En el curvado de **tubos** se corre el peligro de que se aplasten. Por esta razón, hay que rellenarlos o bien utilizar una buena guía en la máquina curvadora de tubos. Los tubos con arcos muy abiertos se doblan sin rellenarlos. Los tubos estirados o laminados de pequeño diámetro pueden doblarse en frío. Para doblar en caliente, la cara interior debe calentarse más que la exterior para que no puedan formarse pliegues. El radio de curvatura debe ser, como mínimo, 3 veces el diámetro del tubo. La costura de soldadura del tubo debe estar en la zona neutra para evitar tensiones de tracción o compresión.

Plegado con bigornia

La pieza se dobla en la bigornia hasta que apoye entre el troquel o punzón de plegado y la bigornia. Debido a la recuperación elástica, la pieza debe comprimirse contra la bigornia.

Las herramientas de doblado o plegado doblan las chapas o flejes de acero para formar los perfiles más diversos. Las herramientas de plegado en estampa están formadas por un troquel o punzón superior y una bigornia. Para que el material no se desgarre al doblarlo, el radio de curvatura no ha de ser inferior al mínimo admisible. Como la estructura de las chapas y flejes es fibrosa a causa del proceso de laminación, el borde de curvatura ha de ser transversal u oblicuo a la dirección de las fibras. A causa de la recuperación elástica, el ángulo de plegado del troquel y de la bigornia han de ser algo menores que lo requerido por la pieza terminada.

También se incluye entre los procedimientos de fabricación por doblado en estampa el redondeado y el acanalado. En el redondeado la pieza se comprime contra una zona redonda de la estampa, comenzando por un borde de la pieza, de modo que ésta toma la forma redonda mediante un curvado gradual. En el acanalado en estampa, el troquel comprime una acanaladura (generalmente para rigidización) en la pieza.

Plegado a tracción

Las tiras de chapa o los flejes se hacen pasar a tracción por una herramienta de conformación, por ejemplo, una boquilla de trefilar, con lo que se doblan tomando la forma deseada.

Plegado por arrollamiento

En este sistema, la pieza se curva continuadamente empujándola a través de una herramienta cuya superficie activa es curva. De esta manera se doblan, por ejemplo, alambres, chapas, tubos, etc.

Las chapas se conforman con una herramienta de doblar por arrollamiento, para formar bisagras y refuerzos o rebordes de rigidez. Antes de comenzar la operación, el extremo de la pieza debe doblarse porque de lo contrario, se mantendría recto. La pieza con el curvado inicial se introduce en la parte inferior de la matriz de arrollamiento con el canto doblado hacia arriba. El arrollamiento se forma en el rebajo cilíndrico de la matriz a medida que la pieza va entrando.

Plegado cilíndrico

La aplicación del momento flector se hace por medio de unos rodillos o cilindros. Por este método, doblando un fleje de acero en sentido longitudinal pueden formarse tubos.

En el **método Fretz-Moon**, el fleje de acero se dobla para formar un tubo al pasar entre unos cilindros perfilados, a continuación se ca-

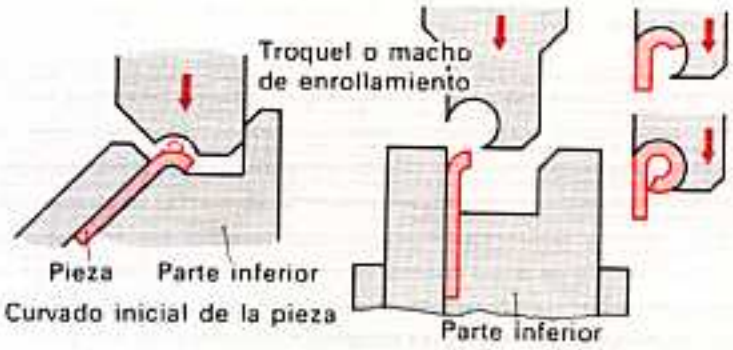


Figura 3-109. Método de trabajo de la herramienta de enrollar.

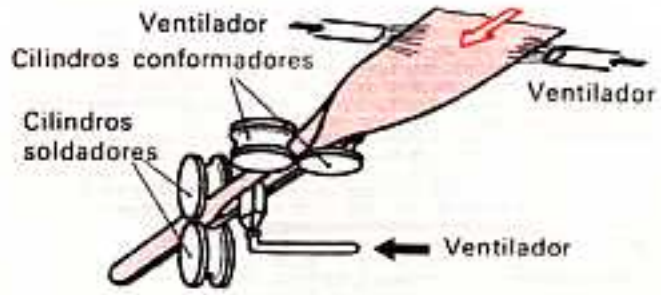


Figura 3-110. Representación esquemática del procedimiento de Fretz-Moon (plegado con cilindro laminador).

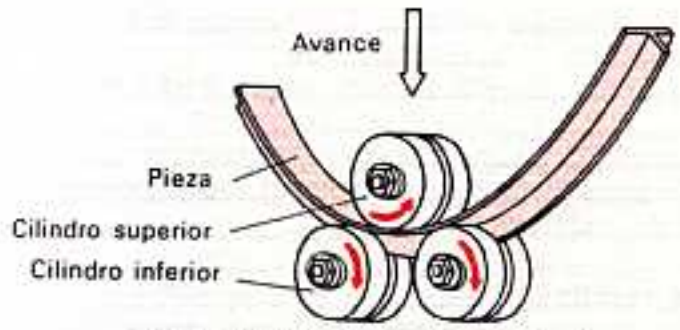


Figura 3-111. Curvado con cilindros.

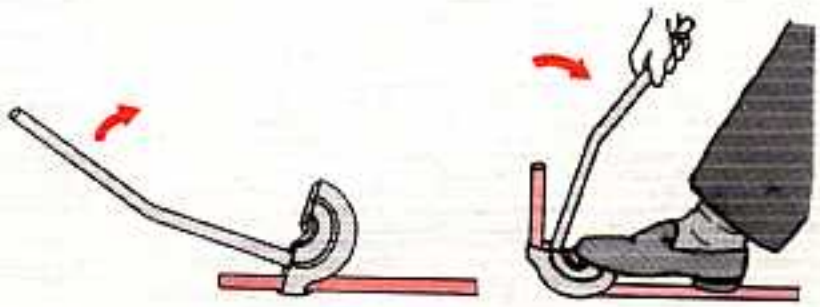


Figura 3-112. Curvado de un tubo de cobre.

lienta a la temperatura de trabajo en el horno continuo de túnel y se suelda para formar un tubo sin fin en unos rodillos de soldadura. El calentamiento del fleje de acero se hace por medio de quemadores laterales de gas.

En el **curvado con cilindros**, las piezas planas (chapas, perfiles de acero) adquieren forma cilíndrica o cónica.

El curvado de perfiles de acero se realiza ventajosamente en cilindros de curvar perfiles. Dos cilindros inferiores con cojinetes fijos se accionan a mano o por medio de un motor. El cilindro superior puede variar su colocación con respecto a los cilindros inferiores modificando así el radio de curvatura.

En el **plegado ondulado** las chapas, alambres, etc., adquieren curvaturas o dobleces uniformemente repartidos por medio de cilindros perfilados.

En el perfilado por laminación, las tiras de chapa, flejes, etc., toman la forma de perfiles rectos o anulares por medio de pares de cilindros perfilados que, en muchos casos, están colocados consecutivamente para realizar diversas operaciones de curvado o doblado. Por este sistema, las piezas adquieren una notable rigidez. Así se laminan acanaladuras en cuerpos redondos como, por ejemplo, cubos (acanalado en cilindros). En estos cubos se puede también curvar el borde superior (rebordeado en cilindro) para aumentar su rigidez.

En el **doblado redondo**, los flejes, perfiles, tubos, etc., se doblan en forma continua en la dirección del brazo en torno a un mandril curvador.

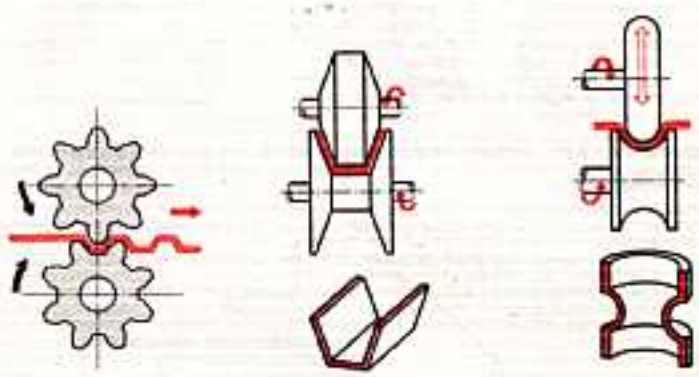


Figura 3-113. Plegado ondulado.
Figura 3-114. Perfilado en cilindros.
Figura 3-115. Acanalado en cilindros.

PROCESOS DE CONFORMACIÓN POR APLANADO Y ENDEREZADO

Por aplanar se entiende la supresión de conformaciones no deseadas en chapas, alambres, barras, etc. Por medio de procedimientos de conformación especiales.



Figura 3-116. Aplanado a golpes (enderezado por flexión)

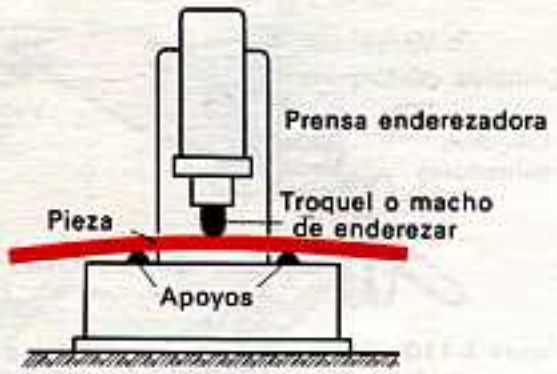


Figura 3-117. Aplanado a presión (enderezado por flexión).

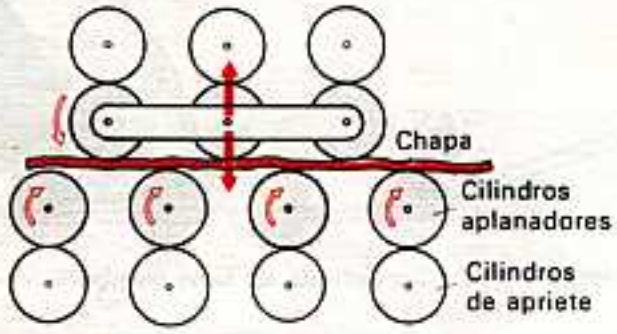


Figura 3-118. Principio de funcionamiento de una aplanadora de chapa (enderezado con cilindros).



Figura 3-119. Enderezado de alambres (enderezado por estirado).

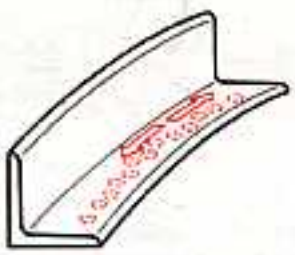


Figura 3-120. Enderezado de un angular de acero por estirado.



Figura 3-121. Enderezado por calentamiento.

Fundamentos

Las causas de las deformaciones de los materiales son las tensiones internas, el calentamiento o enfriamiento unilateral, los choques, los golpes, la mecanización unilateral con arranque de virutas, etc. En el aplanado y enderezado se corrige el trabajo de conformación. Mediante compresión o golpes se aporta al material energía mecánica o bien se le aplica energía térmica por medio de una llama.

La pieza se lleva a su forma primitiva, en general, por medio de flexiones, pero también por medio del alargamiento, forjado sin estampa o conformado en estampa.

Enderezado por flexión

La pieza se lleva libremente a su forma. Golpeándola (martillo) o por presión (punzón) se crea el estado plástico.

Según el espesor del material, el enderezado se hará en frío o en caliente.

Los pequeños trabajos de enderezado se realizan sobre una placa enderezadora (una placa plana de acero colado), los grandes se efectúan en prensas de enderezar.

Aplanado entre rodillos

Las chapas, barras, alambres o tubos se conforman haciéndolos pasar a través de unos cilindros (en general varios en línea) en recto o dándoles una forma curva determinada.

Enderezado en estampa

Después de la conformación en prensa de las piezas forjadas en caliente, estas piezas se deforman (alabean) al enfriarse. Por esta razón se enderezan posteriormente en una estampa.

Enderezado por extensión

Los alambres, barras o chapas pueden enderezarse por medio de conformación por alargamiento para eliminar dobleces o abolladuras.

Enderezado por estirado

Los perfiles de acero pueden enderezarse por estirar la capa interior, demasiado corta (obligar al material a desplazarse en dirección longitudinal).

Por medio de la conformación en frío (enderezado, doblablado, forja, alargamiento) aparece, como fenómeno secundario, el endurecimiento en frío y el aumento de la dureza del material. Puede eliminarse con un recocido intermedio.

Enderezado por calentamiento

Se calienta la parte convexa de la pieza, es decir, la cara demasiado larga. De esta forma se aumenta la curvatura. Al mismo tiempo aparecen, sin embargo, por el aumento de volumen de la zona caldeada, grandes tensiones de compresión. Si se sigue calentando, al llegar al límite de fluencia, el material se hace pastoso. La presión interior produce un encogimiento (aplastamiento) del lado demasiado largo. Al enfriarse, las partes aplastadas se contraen por lo que la pieza se endereza por sí misma. Se ayuda a ello con unos golpes con el martillo.

MÁQUINAS DE CONFORMAR

La conformación requiere esfuerzos considerables que se producen por medio de prensas. Según la forma en que se mueve hacia arriba y hacia abajo el carro de la prensa, hay que distinguir entre prensas de husillo, de cigüeñal, excéntricas, de rodillera e hidráulicas.

El carro de la prensa lleva la parte superior de la herramienta de corte o embutición o la matriz superior. Tiene que moverse con exactitud porque de eso depende la calidad del trabajo. La parte inferior de la herramienta (matriz, estampa inferior) va sujeta a la mesa o plato de la prensa.

Prensa de husillo

Los discos de fricción accionados por un motor eléctrico con transmisión por correas trapeciales hacen girar un husillo helicoidal de varios pasos dentro de una tuerca de husillo unida al puente del bastidor de la prensa. En el extremo inferior del husillo va el carro guiado exactamente por cuatro guías. Las partes principales de esta prensa son muy robustas para que puedan absorber con seguridad las solicitaciones bruscas a que están sometidas.

Prensas de cigüeñal y de excéntrica

En estas máquinas, el movimiento de giro del accionamiento se transforma en movimiento rectilíneo del carro por medio de un cigüeñal o de una excéntrica (cigüeñal de discos) a través de un empujador y una articulación esférica.

Prensas de rodillera

Al girar el cigüeñal, la palanca acodada es estirada por la barra de tracción. De esta manera, el carro se desplaza hacia abajo con gran fuerza.

Prensas hidráulicas

Se utilizan, sobre todo, para los trabajos de embutición profunda, porque en ellas se puede regular con independencia de unas con otras, la fuerza de embutición, la velocidad de embutición y la presión del pisador.

En la prensa hidráulica de simple efecto sólo se mueve el carro, en la de doble efecto se mueven el carro y el pisador independiente-

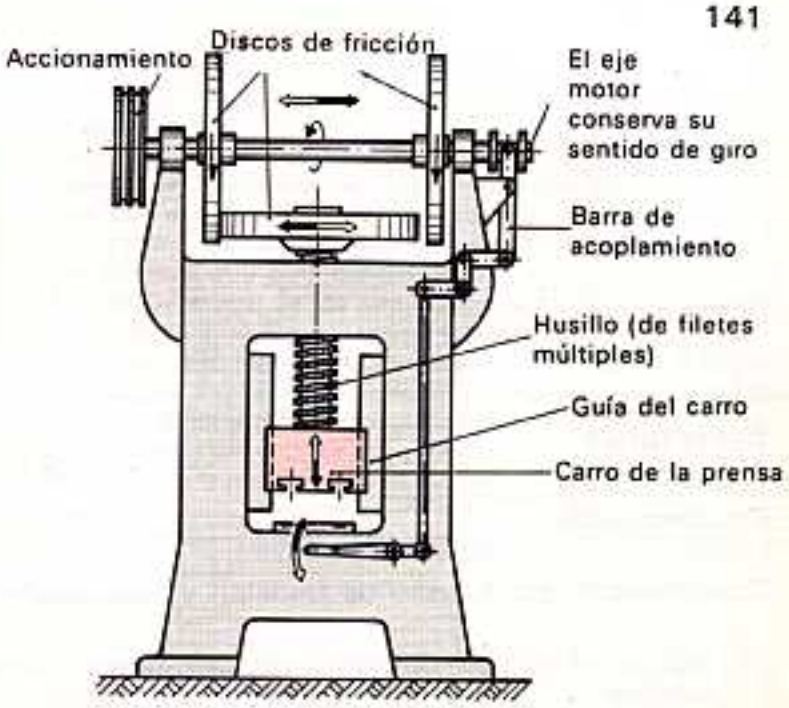


Figura 3-122. Prensa de husillo.
Por cambio del disco de fricción se invierte el sentido del movimiento del husillo.

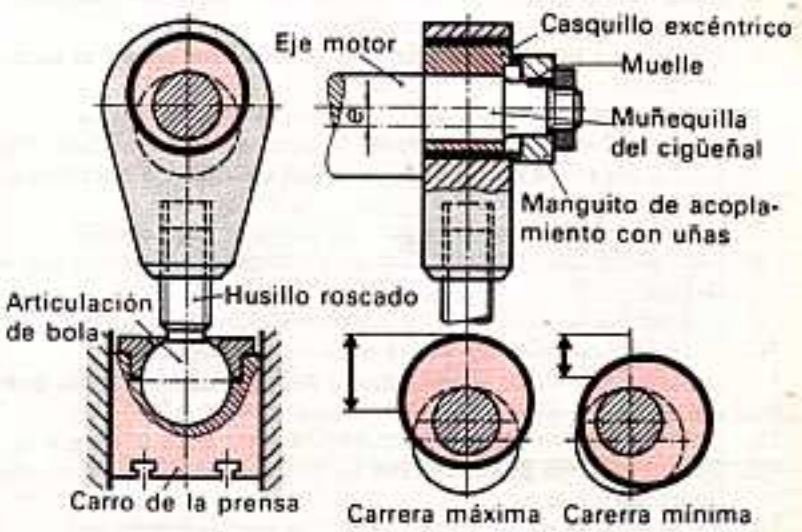


Figura 3-123. Prensa excéntrica.
El casquillo excéntrico que gira sobre la muñequilla del cigüeñal está unido al eje motor por medio de un anillo sujeto con una uñas a la cara frontal y que puede soltarse.
Si se suelta el anillo de uñas, puede hacerse girar el casquillo excéntrico para modificar la longitud de la carrera.



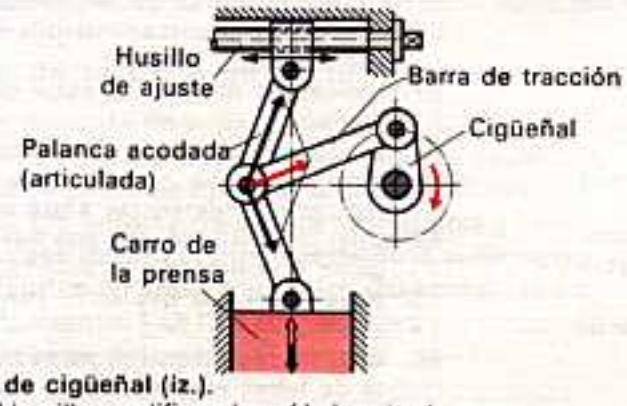


Figura 3-124. Prensa de cigüeñal (iz.).
El carro se ajusta con el husillo modificando así la longitud de la carrera.
Figura 3-125. Prensa de rodillera (der.).
Con el husillo de ajuste puede variarse la longitud de la carrera.

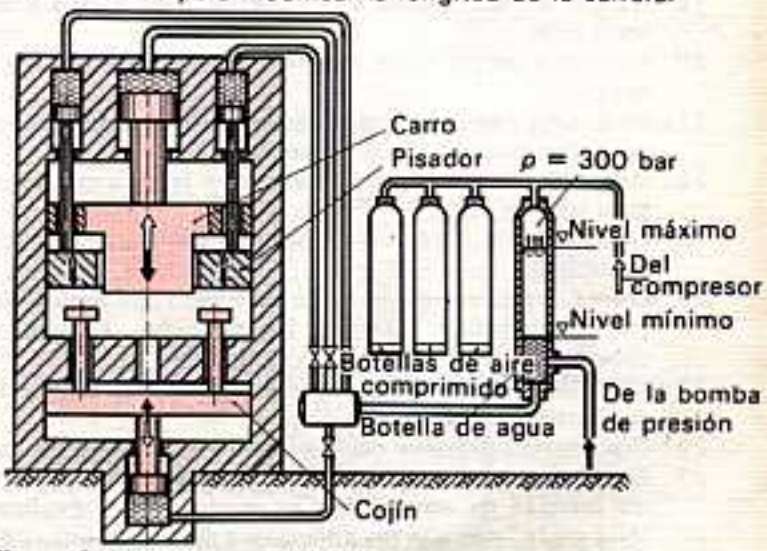


Figura 3-126. Prensa hidráulica con acumulador de presión.

mente uno del otro, y en la de triple efecto se mueve también el plato inferior.

Las prensas hidráulicas se accionan por medio de un acumulador de presión o directamente por medio de bombas de émbolo sumergido con varios émbolos. En el funcionamiento con acumulador se utiliza agua con un 2% de aceite anticorrosivo, en el accionamiento directo, el líquido empleado es aceite especial para mecanismos hidráulicos.

Ejercicios

Conformación

Conformación por fuerzas de tracción y compresión

1. Explicar el método de fabricación denominado «conformación».
2. Citar un ejemplo de cada uno de los procedimientos de conformación por medio de fuerzas de tracción, fuerzas de compresión y fuerzas de flexión.
3. ¿Qué subgrupos hay en el procedimiento de fabricación «conformación por compresión»?
4. Indicar los procesos de fabricación de chapas en el tren de laminación duo y en el trío.
5. Explicar un procedimiento de laminación de tubos.
6. Dibujar el esquema y explicar la laminación de anillos. Pieza inicial: un trozo de tubo. Éste se lleva entre dos cilindros que ensanchan el anillo.
7. ¿Cómo se representaría una laminadora de roscas?
8. Indicar las diferencias entre forja sin estampa y forja con estampa.
9. Indicar las ventajas de la conformación en caliente.
10. ¿Qué materiales son forjables y cuáles no?
11. ¿Por qué es mayor la resistencia de las piezas forjadas que la de las mecanizadas con arranque de viruta?
12. Defectos de forja por temperatura muy baja o muy alta.
13. Con el martillo y las tenazas se pueden producir accidentes. Decir las causas.
14. Explicar qué es «merma o pérdida por combustión».
15. Indicar las diferencias entre estirar, rebajar y recalcar.
16. ¿Cómo se comporta la chapa en el repujado y en el abombado?
17. Citar las reglas de trabajo para forjar.
18. ¿Cuándo se habla de forjar con estampa?
19. Indicar las diferencias entre prensado en molde y recalcado en molde.
20. Enumerar las ventajas e inconvenientes de la forja con estampa.
21. En la forja con estampa ¿qué hay que tener en cuenta al preparar los huecos de la estampa?
22. Describir la frecuencia de trabajo en la forja con estampa (figura página 134).
23. La cabeza de un clavo se obtiene por recalcado en molde. Explicarlo.
24. El troquelado completo es un prensado con molde sin formación de rebabas. Ejemplo: las monedas. Explicar la fabricación.
25. ¿Qué condición debe cumplirse para que se pueda hablar de conformación por extrusión?
26. Explicar las prensas de extrusión para forros de cable.
27. El material inicial utilizado en las prensas de extrusión y en las prensas de embutición es muy distinto. Explicarlo.
28. ¿Qué materiales son los adecuados para las prensas de embutición?
29. Citar como mínimo cinco objetos fabricados con prensas de embutición.
30. ¿Qué tienen en común el estirado por tracción y la embutición profunda?
31. ¿En qué se diferencian el estirado por tracción y el estirado por laminación?
32. Explicar con un ejemplo el estirado por tracción de un cuerpo macizo.
33. Comparar la fabricación de tubos por estirado por tracción y por laminación.
34. En el estirado por laminación, las varillas se estiran entre dos cilindros. Comparar este procedimiento con la laminación de barras.
35. Explicar qué es la «embutición profunda».
36. Indicar las diferencias entre embutición profunda y repujado.
37. ¿Qué se necesita para la embutición profunda?
38. ¿Qué se entiende por «embutición profunda con medios activos?
39. Normalmente, los fregaderos se obtienen por embutición profunda. Explicar su fabricación.

Conformación por momento flector

40. Razonar por qué el plegado es un procedimiento de conformación.
41. Explicar las solicitaciones del material en la parte del plegado.
42. Razonar por qué la resistencia al curvado depende del espesor del material y del eje de curvatura.
43. Indicar la relación que existe entre la dirección de laminación y el eje de curvatura.
44. Explicar la influencia de la calidad de la superficie del material en el plegado.
45. Explicar la relación de dependencia del radio de curvatura.
46. ¿A qué se debe la recuperación elástica en el plegado?
47. ¿Qué importancia tiene la fibra neutra en el curvado?
48. Explicar los cambios de sección de una pletina en el plegado.
49. Razonar por qué en los planos se indica siempre el radio de curvatura interior de los cantos doblados.
50. Comparar los procedimientos de conformación por tracción, compresión y plegado.
51. Indicar las diferencias entre curvado sin máquina y con cilindro.
52. Dibujar un esquema de un dispositivo para plegar con estampa.
53. Indicar las diferencias entre acanalar y rebordear.
54. Citar las posibilidades que hay de dar a una chapa mayor rigidez a la flexión.
55. ¿Qué diferencia hay entre curvar tubos con soldadura y sin ella?
56. Razonar la siguiente regla de trabajo: En el curvado en caliente de tubos con relleno de arena sólo debe utilizarse arena seca.
57. Distinguir entre embutición por tracción y plegado por tracción.
58. Explicar el estirado con cilindros y el curvado con cilindros.

59. Explicar la fabricación de tubos por el procedimiento Fretz-Moon.
60. Hay que curvar un tubo. ¿Qué método hay que aplicar: redondeado cilíndrico o curvado con cilindros?
61. Citar procedimientos conocidos de fabricación de tubos sin soldadura y con ella.
62. Clasificar los procedimientos de conformación por flexión en conformación por plegado con movimiento rectilíneo de la herramienta y movimientos giratorio de la herramienta.
63. El procedimiento de conformación «enderezar» no está normalizado. ¿Por qué?
64. ¿Qué condición debe cumplirse para utilizar el procedimiento de «enderezado»?
65. ¿Qué causa tienen las deformaciones no deseadas de las chapas?
66. ¿Cuándo se utilizan para enderezar los martillos de madera, goma o metales ligeros?
67. Al aplanar una chapa se golpea sobre la abolladura. ¿Qué consecuencias tiene esto?
68. Un perfil de acero está deformado por tensiones internas. Explicar la operación de enderezado por medio de llama.
69. Hay que enderezar un alambre torcido.
70. Explicar por qué se necesita más fuerza para enderezar piezas torcidas que para curvarlas.
71. Estudiar el efecto de los golpes con el martillo en una pieza apoyada de plano o en varios puntos.
72. El enderezado con calentamiento es más rápido si la pieza está sujeta. Explicar la operación y dibujar el croquis del dispositivo de sujeción correspondiente.
73. Diferenciar cuatro tipos de prensas.
74. Explicar la elevación y descenso del carro en una prensa de husillo.
75. ¿Qué ventajas tiene la prensa hidráulica con respecto a las demás prensas?

3.4 Separación por seccionado

3.4.1 La cuña como filo de herramienta

FUNDAMENTOS DE LA SEPARACIÓN DE MATERIALES

Separar es fabricar modificando la forma de un cuerpo sólido, en el cual se elimina la cohesión en el lugar de la separación.

Seccionado. Arranque de viruta

Seccionar es separar distintas partes de la pieza a trabajar sin producir virutas, p. ej., corte con el filo de las tenazas, cincelado en posición de trabajo vertical, corte con tijeras o cizalla.

Arranque de viruta es separar por medios mecánicos (cepillado, limado) pequeñas partes de material con herramientas cuya forma de corte está exactamente determinada, o bien con herramientas cuyos cortes no tienen forma determinada alguna (amolado).

Ángulo y planos en la cuña de corte

Todos los filos cortantes tienen en común su **forma de cuña**. La sección de la cuña tiene forma de triángulo invertido. La intersección entre ambas **superficies laterales de la cuña** es el **filo** cortante. El ángulo formado por estas superficies se denomina **ángulo de la cuña B.**

Acción de seccionado de la cuña de corte

La fuerza aplicada a la herramienta de separación actúa inicialmente sobre el filo. Si la fuerza es lo suficientemente grande, se supera la cohesión del material y en la pieza se forma una entalla. El material distribuye la presión hacia los lugares de menor resistencia y forma un cordón junto al filo. En caso de seguir introduciendo la cuña se generan grandes fuerzas laterales de separación que ensanchan la entalla y producen un agrietamiento. Las fuerzas laterales provocan finalmente la separación brusca del material (rotura).

Todo proceso de separación con herramientas de filo cortante se compone de entallado y rotura.

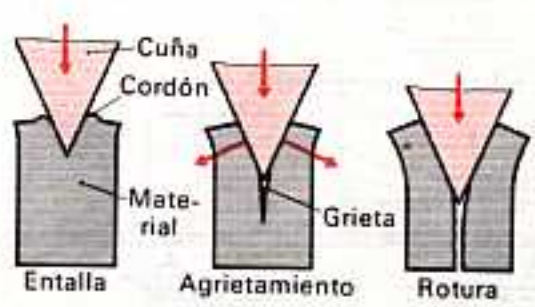


Figura 3-127. Seccionar y cortar por arranque de viruta.

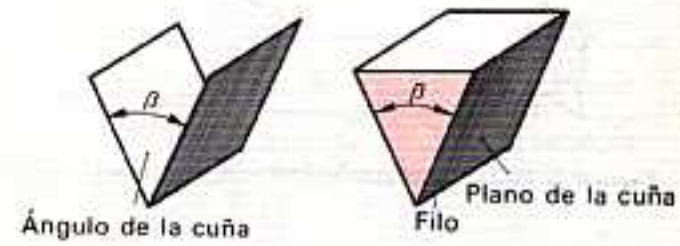


Figura 3-128. Ángulo y planos en la cuña de corte.

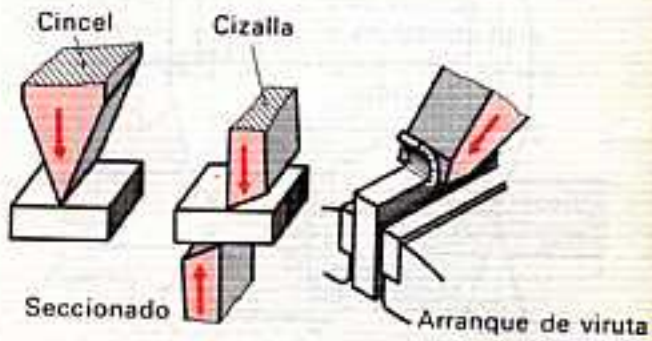


Figura 3-129. Acción de seccionado de la cuña de corte.

El material del filo de la cuña debe ser siempre más duro que el de la pieza a trabajar.

En materiales duros se produce una gran superficie de rotura cuando la fuerza necesaria para deformar es mayor que la cohesión del material en el punto de rotura. En materiales blandos la superficie de rotura es menor o no existe.

Cuando se corta en el yunque con tajadora actúan dos cuñas enfrentadas, en cuyo proceso el ángulo de cuña también debe escogerse de acuerdo con la dureza del material (material incandescente = blando/material frío = duro).

HERRAMIENTAS DE CORTE CON CUÑA

Se distingue entre herramientas de corte con cuña de un solo filo y de dos filos.

A los primeros pertenecen toda clase de cinceles así como los sacabocados con cuña exterior para la fabricación de discos o con cuña interior para agujeros. La pieza debe tener los bordes rectos; el cordón queda en los recortes. El cortatubos, es a pesar de sus tres discos cortantes, una herramienta de corte con cuña de un filo. Las tres cuñas de corte se van aproximando mediante la fuerza de un husillo. De este modo, el tubo se deforma dentro del campo elástico y genera la fuerza de reacción. En cuanto gira el aparato, las ruedas de corte penetran en el material.

A las herramientas de corte con dos filos de cuña pertenecen todas las que tengan forma de tenazas, los alicates de corte, la tijera de palanca y el cortador de pernos. Dado que aquí sólo se utiliza la fuerza manual, se debe hacer uso de la multiplicación por palanca.

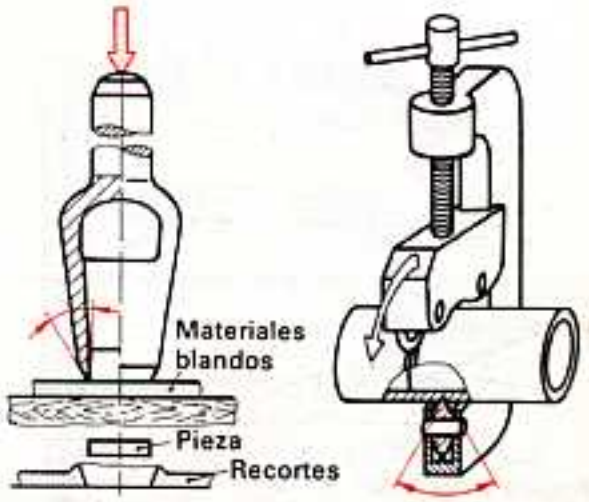


Figura 3-134. Sacabocados. Figura 3-135. Cortatubos.

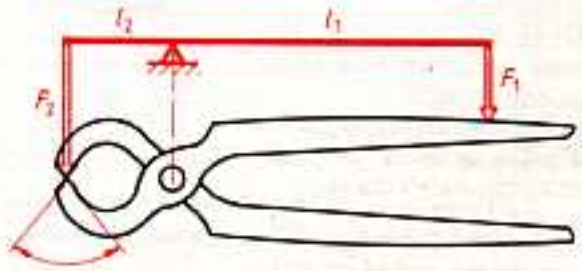


Figura 3-136. Tenazas (DIN 5241).

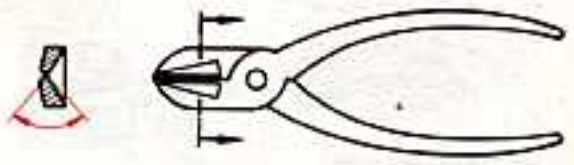


Figura 3-137. Alicates de corte lateral (DIN 5238).

3.4.3 Cizallado

CORTE CON CIZALLA

Cizallar es cortar un material por medio de una herramienta de corte de dos filos, la cizalla, en la cual los filos se mueven el uno hacia el otro.

Mientras que el cincel de un solo filo penetra en el material, en las cizallas trabajan enfrentadas dos cuñas. Los filos en forma de cuña, aquí llamados cuchilla superior y cuchilla inferior, se deslizan una junto a otra. El material es primeramente entallado por ambos lados por los bordes cortantes. La presión de las cuñas provoca el endurecimiento del material por trabajo en frío, con lo que aumenta en resistencia, de manera que la cuchilla sólo penetra hasta cierta profundidad. Con el subsiguiente aumento de la presión, se vence la resistencia a la tracción del material, la estructura se separa (se rompe) y ambas superficies de rotura se deslizan entre sí. La superficie de separación de una pieza presenta debido al proceso de cizallado, una forma irregular. Las zonas externas son lisas, las internas son bastas y con arranques.

Ángulo de despullo y juego de los filos

Las cuchillas superior e inferior de las cizallas tienen cuñas de corte.

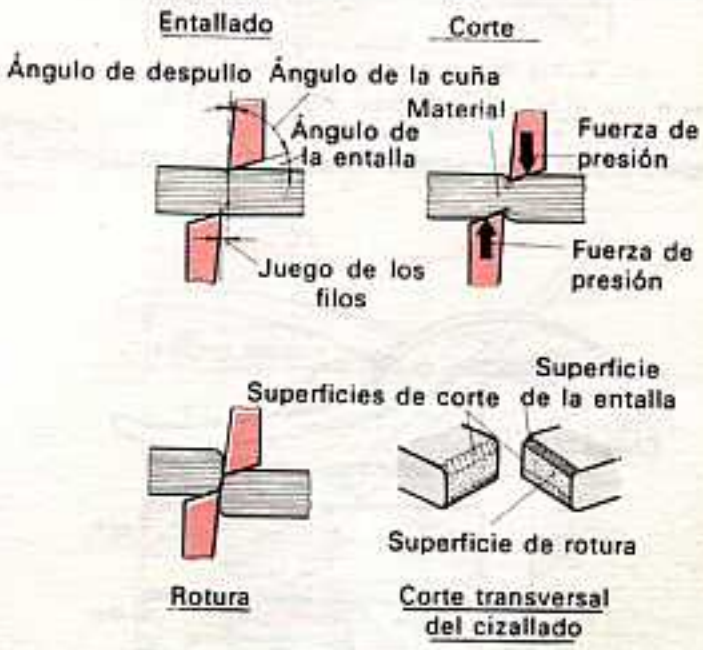
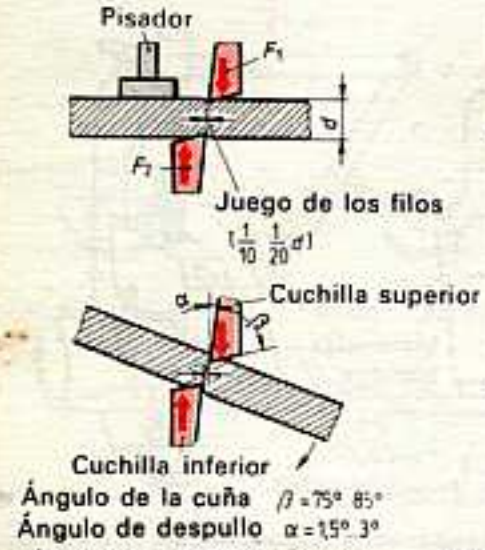
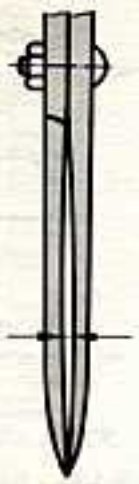


Figura 3-138. Efecto del proceso de corte sobre el material.



Juego de los filos durante el cizallado
Arriba: El juego de los filos debe reducirse para lograr un corte limpio.
Abajo: Con un juego grande la pieza se ladea, la cizalla no corta, es «forzada».



Las tijeras tienen una tensión inicial.
Esta tensión debe ser de 0,1 a 0,2 mm.

Figura 3-139. Destalonado, juego de filos y acción de palanca de las cuñas de corte.

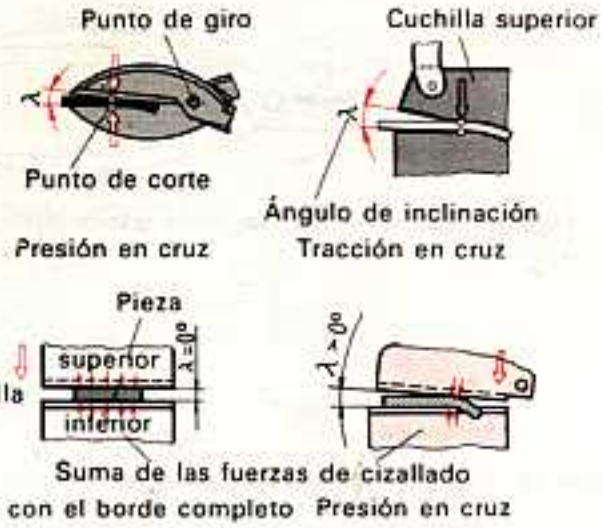


Figura 3-140. Procedimiento de corte con tijera.



Figura 3-141. La ley de la palanca en el cizallado.

El ángulo de la cuña mide entre 75° y 85°. Para que las cuñas no rocen contra la superficie de corte de la pieza y la dañen, poseen un ángulo de despullo (afilado despullado) de unos 2°. Un juego entre los filos de 1/10 a 1/20 del espesor del material evita que aquéllos se dañen mutuamente. Para evitarlo con toda seguridad, las cizallas manuales tienen una tensión previa de 0,1 hasta 0,2 mm y sólo se tocan por el otro extremo. Al cortar, el punto de contacto corre a lo largo de las cuchillas.

Si el juego entre los filos es demasiado grande, se introduce material entre las cuchillas, se dañan los filos y queda rebaba en el material.

Acción de palanca de los filos de corte

Las superficies oblicuas de los filos, al actuar en oposición y en movimiento paralelo, provocan la rotación de la pieza. En las cizallas manuales esta rotación se evita sujetando la chapa. Por este motivo las cizallas para chapa gruesa llevan un pisador que sujeta la chapa y absorbe el gran momento torsor que se produce al cizallar.

Movimiento y posición de los filos

En la cizalla manual o tijera, ambas cuchillas giran sobre un mismo punto, por lo cual el material se corta en forma progresiva (corte abierto-cruzado), a diferencia del corte cerrado, en el cual el corte completo del material se realiza en forma repentina. Las cizallas paralelas cortan con todo el filo, presionando en un movimiento vertical de la cuchilla superior y tirando con movimiento oblicuo.

ACCIÓN DE LA PALANCA Y FUERZA DE CORTE

La resistencia a la cortadura es la que opone el material a ser cortado con cizalla.

La fuerza de corte necesaria para el proceso de cizallado se consigue mediante una acción de palanca. En la tijera de la figura 3-141, el perno O representa el punto de apoyo de la palanca, las empuñaduras y las cuchillas son respectivamente los brazos de palanca l_1 y l_2. Mediante fuerza muscular se genera un momento de giro de magnitud $M_1 = F_1 \cdot l_1$.

Ley de la palanca

El momento de giro generado por la fuerza muscular produce en el borde de corte un momento equivalente $M_2 = F_2 \cdot l_2$ (fuerza de corte por distancia al punto de giro).

Existe equilibrio, cuando los momentos son iguales y de sentido opuesto.

Ley de la palanca

Momento de giro a la derecha = Momento de giro a la izquierda

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

Ensayo: Determinación de la fuerza de corte.

Una chapa de aluminio ofrece al cortarla con una tijera de mano una contrafuerza de 300 N. Con la fuerza aplicada $F_1 = 60$ N la chapa se puede cortar en la posición 1 ($l_2 = 3$ cm), pero no en la posición 2 ($l_2 = 6$ cm).

Observación: La magnitud de la fuerza de corte depende de la posición del borde de corte de la pieza respecto del punto de giro.

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2};\quad F_2 = \frac{60\ \text{N} \cdot 15\ \text{cm}}{6\ \text{cm}} = 150\ \text{N};\quad F_2 = \frac{60\ \text{N} \cdot 15\ \text{cm}}{3\ \text{cm}} = 300\ \text{N}$$

Angulo de inclinación de la cuchilla de la tijera

Una chapa desplazada demasiado hacia el perno de la tijera resbala hacia fuera. Así pues ha de tenerse en cuenta la acción de empuje de la fuerza de corte. Ambas fuerzas pueden ser compuestas en un paralelogramo de fuerzas. La pieza resbala cuando la fuerza resultante es mayor que la de rozamiento entre la pieza y los filos.

Un ángulo de abertura de 14° es el más apropiado; si el ángulo es mayor, la pieza resbala de la cizalla; si es menor, la sección de corte y con ello la fuerza de cizallado deberán ser mayores. En la tijera manual, el ángulo de abertura se reduce al ir cerrándose las cuchillas, con lo cual la fuerza a aplicar ha de ser constantemente mayor. En la cizalla paralela el ángulo de las cuchillas es el mismo en cualquier posición. Con la cizalla de palanca y la de agujeros se corta hasta el extremo.

EL TRABAJO CON LA TIJERA MANUAL PARA CHAPA (TIJERA DE HOJALATERO)

Las tijeras manuales para chapa son utilizadas para cortar chapas finas de hasta 1,2 mm de espesor. La elección se realiza de acuerdo con el tipo y forma del corte.

Las **tijeras rectas** se utilizan para cortes pequeños rectos o ligeramente curvados. Está normalizada en DIN 6438.

Las **tijeras para corte continuo** se utilizan en cortes de piezas largas y rectas.

Las **tijeras curvadas** (para agujeros) tienen una quijada de corte diseñada para el recorte de formas interiores. Ejemplo de designación: cizalla DIN 6438-L250.

Las **tijeras para piezas curvadas** poseen quijadas de corte estrechas, para poder recortar cualquier perfil curvo.

En las cizallas vibratorias manuales eléctricas para chapa, la cuchilla superior realiza el movimiento de corte mientras la inferior permanece inmóvil.

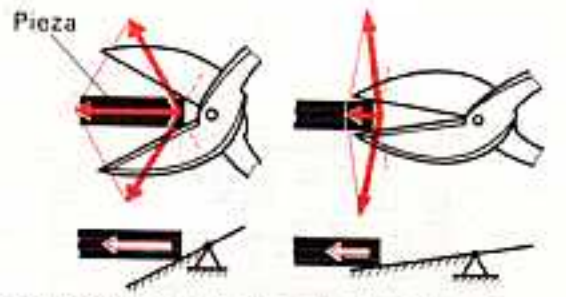
En todas las tijeras de mano hay cortes a la derecha y a la izquierda. La designación se rige por la posición de la quijada inferior en la dirección de corte. Manejar siempre la tijera de manera que el corte sea visible y el desperdicio quede bajo la cuchilla superior.

CIZALLAS

Existen cizallas de accionamiento manual y de accionamiento mecánico.

Las **cizallas de palanca** tienen una cuchilla inferior fija y una superior móvil. El ladeo de la chapa se evita mediante un pisador regulable al espesor de la misma. El filo de la cuchilla de corte superior es algo curvo longitudinalmente, para que en las correspondientes posiciones de cizallado el ángulo de abertura permanezca invariable.

En cizallas pequeñas, la fuerza manual es transmitida a la cuchilla mediante una palanca asimétrica de brazos desiguales y una palanca acodada. Durante el proceso de corte varían los brazos de pa-



Ángulo de inclinación grande Ángulo de inclinación pequeño

Figura 3-142. Ángulo de inclinación de las cuchillas de la tijera.

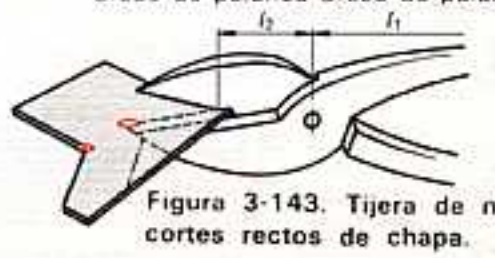


Figura 3-143. Tijera de mano para cortes rectos de chapa.

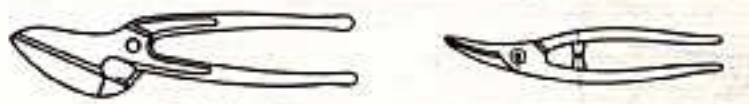


Figura 3-144. Tijera de corte continuo (iz.).
Figura 3-145. Tijera para agujeros (der.).

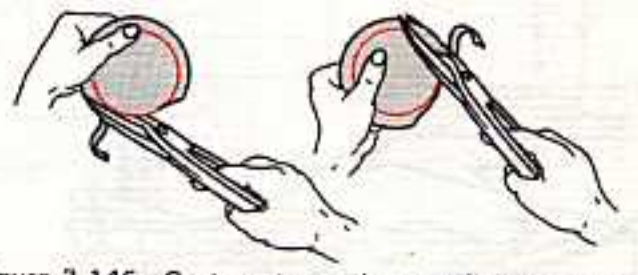


Figura 3-146. Corte exterior de superficies circulares.
A la izquierda: correcto, el corte es visible
A la derecha: incorrecto, el corte no es visible

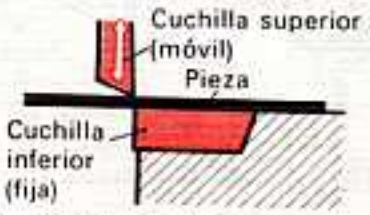


Figura 3-147. Cizalla eléctrica manual para chapa.
Se coloca en el borde de la pieza y se guía a lo largo de la línea de corte.

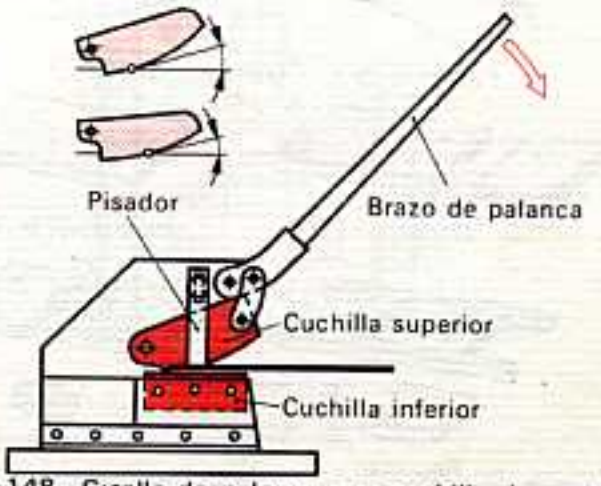


Figura 3-148. Cizalla de palanca con cuchilla de corte basculante.

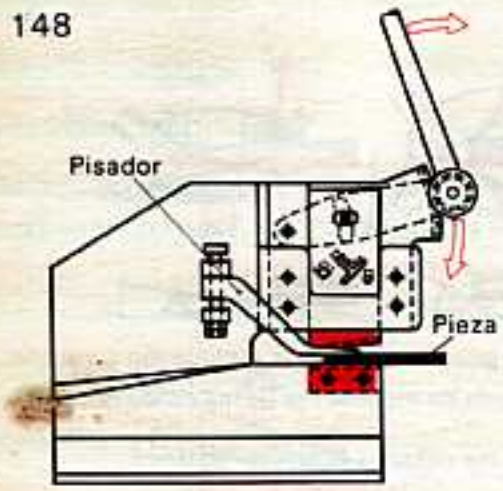


Figura 3-149. Cizalla de palanca con movimiento paralelo de la cuchilla superior.

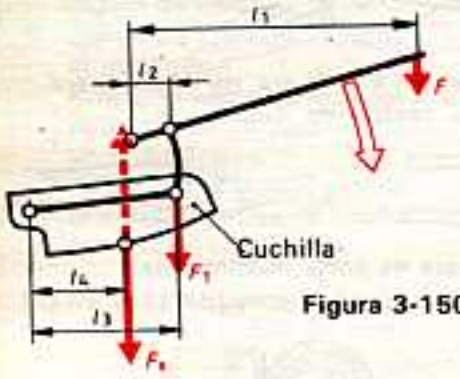


Figura 3-150. Brazos de palanca y momentos de giro.

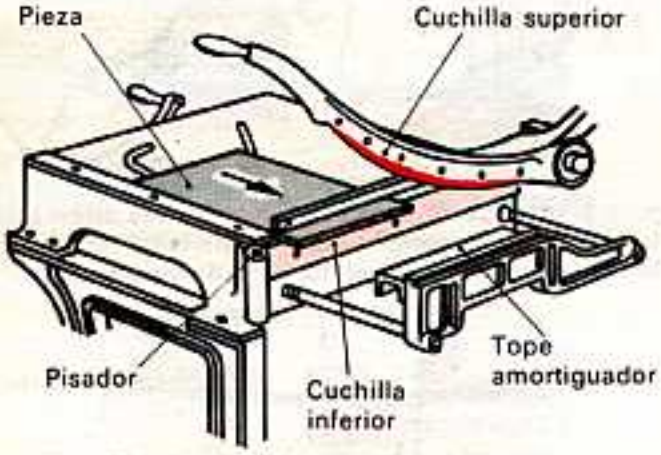


Figura 3-151. Cizalla de palanca de mesa.

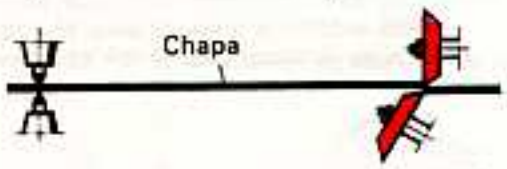


Figura 3-152. Cizalla circular.

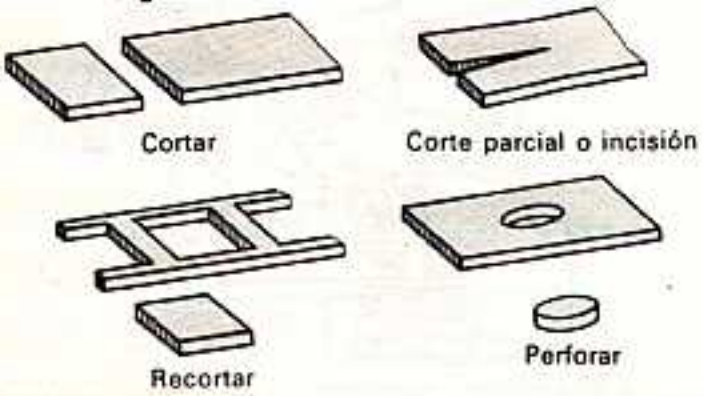


Figura 3-153. Trabajos con herramientas de corte.

lanca. Las cizallas de palanca con movimiento paralelo de la cuchilla superior (cizallas paralelas) poseen un engranaje y un segmento dentado. Los brazos de palanca permanecen en este caso invariables.

Las cizallas de palanca cortan chapas de hasta unos 6 mm de espesor. Hay versiones especiales que posibilitan cortar redondos, cuadrados y perfiles.

Las **cizallas de palanca de mesa** sirven para cortar bandas largas y estrechas de chapa fina. Para mantener invariable el ángulo de cizallado en 14°, la cuchilla superior es de forma curvada. Con ello se aplica la misma fuerza en toda la longitud de corte.

Se utilizan cizallas circulares y curvadas para recortar a voluntad círculos y curvas. En los cortes curvos la chapa debe guiarse manualmente.

DEFECTOS EN EL TRABAJO DE CIZALLADO

Los cortes presentan demasiadas rebabas: El juego entre los filos es demasiado grande.

El gasto de energía es muy grande: Las cuchillas se han desafilado. La pieza debe desplazarse hacia el punto de giro de las mordazas de corte.

Las cuchillas de corte presentan mellas: Solicitaciones excesivas de los filos por cortar piezas demasiado gruesas o duras. Alargamiento del brazo de palanca mediante la inserción de un tubo.

El corte presenta desviaciones respecto de la línea de agrietamiento: Guiado inexacto de la cizalla. La grieta no era visible durante el corte.

Llevar las chapas de cantos vivos siempre con guantes. El brazo de palanca de las cizallas debe levantarse y asegurarse firmemente después de su utilización. Asegurar fuertemente las chapas por medio de un pisador. No aumentar el momento de giro alargando el brazo de palanca. No sobrecargar la cizalla.

3.4.4 El corte de forma

HERRAMIENTAS DE CORTE

Con herramientas de corte, que constan de un macho (punzón) y una placa de corte (matriz), se cortan las chapas con la forma que se quiera. Este procedimiento es el seguido principalmente en la fabricación en serie, ya que para cada forma se necesita una herramienta de corte especial.

Proceso en la herramienta de corte

En primer lugar, por el contacto con el macho y a causa de la deformabilidad en frío del material, la plancha queda algo comprimida. A medida que avanza el punzón aparece en su contorno una fuerza de penetración que abomba a la chapa. Al penetrar más el punzón, su fuerza de corte supera a la resistencia a la cortadura del material y comienza la separación de éste con más superficies de corte limpias, pero antes de terminar del todo el corte, la resistencia a la rotura del espesor de material que queda por cortar es menor que a la corta-

dura y se desgarra, quedando entonces una superficie de separación rugosa y con rebaba.

Herramienta de corte sin guía

Con ella se cortan placas redondas y formas simples de chapa fina. Consta de troquel y placa de corte. Un extractor adicional permite que la herramienta trabaje sin interrupciones. El troquel se fija al carro de la prensa, que se desliza sobre guías, y sólo puede tener un pequeño juego lateral, para que durante el trabajo el troquel coincida con la placa de corte.

Herramientas de corte con guías

Herramientas de corte con guía de placa

Una placa guía orienta al troquel de forma precisa y tira del material después del corte. La placa guía y la de corte son mantenidas en su posición por medio de pasadores cilíndricos y fijadas a una caja portamatriz por medio de tornillos con suplementos de aprox. 8 mm de espesor (guías laterales).

Herramienta de corte progresivo (matriz escalonada)

Precisa de varios troqueles montados en forma secuencial en una placa. A cada golpe de la prensa se producen en la tira de material nuevos seccionados, hasta terminar la pieza separándola de la tira. El movimiento de avance de la tira de material entre corte y corte debe ser constante.

El **pasador centrador** colocado en el troquel asegura la posición exacta de la forma interior y exterior de la pieza. El **pasador limitador** (tope) fija la magnitud del avance de la tira después de cada carrera de trabajo del troquel, determinando así también el ancho de desperdicio de tira entre piezas cortadas.

Herramienta de corte con columnas de guía

En esta herramienta el troquel es guiado, según el tamaño, por dos, tres o cuatro columnas templadas y rectificadas.

Las columnas de guía se alojan en la parte inferior de la prensa con un ajuste a presión. La parte superior de la herramienta de corte se desliza a lo largo de casquillos templados, guías de bolas o solo en las perforaciones de la parte superior, finamente mecanizadas.

Matriz de corte completo

Esta herramienta multiforme se utiliza para piezas que hayan de tener unas medidas muy exactas y fabricarse en grandes cantidades. El troquel principal corta la forma exterior de la pieza y actúa al mismo tiempo como placa de corte para la forma interior. Con ello se asegura la posición respectiva de la forma exterior y la interior. El troquel de corte principal para la forma exterior está unido a la parte inferior de la herramienta de corte por medio de pasadores. La placa de corte y los punzones necesarios descansan en la parte superior. Esta disposición asegura que los recortes caigan por el interior del macho principal. Este empuja la pieza hacia la placa de corte situada arriba, de la cual es extraída una vez terminada mediante un extractor. El extractor debe también guiar los punzones hasta que penetren en el material.

Las matrices de corte completo trabajan con columnas de guía.

Con estas herramientas se evitan las excentricidades que pueden presentarse en el corte progresivo (escalonado). La posición exacta de las perforaciones respecto de la forma exterior depende sólo de la exactitud de la matriz.

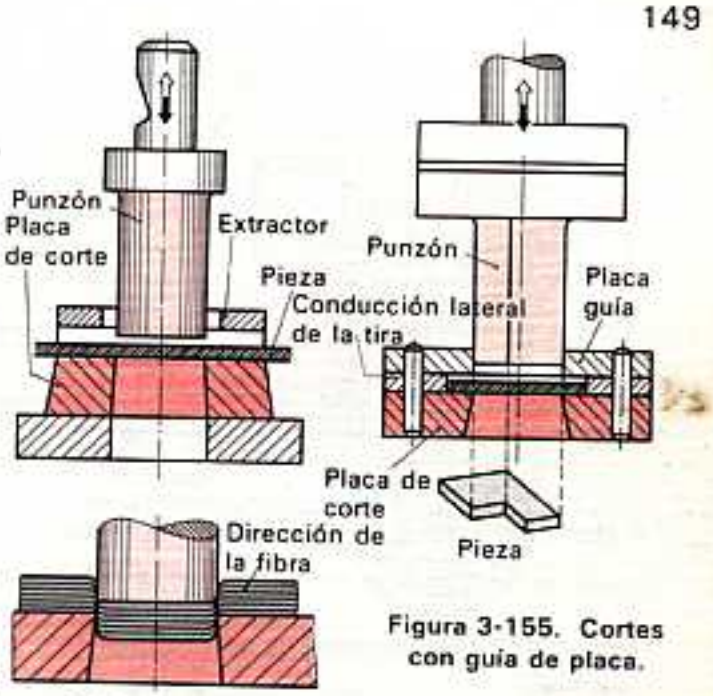


Figura 3-155. Cortes con guía de placa.

Figura 3-154. Trabajos con herramientas de corte sin guía.

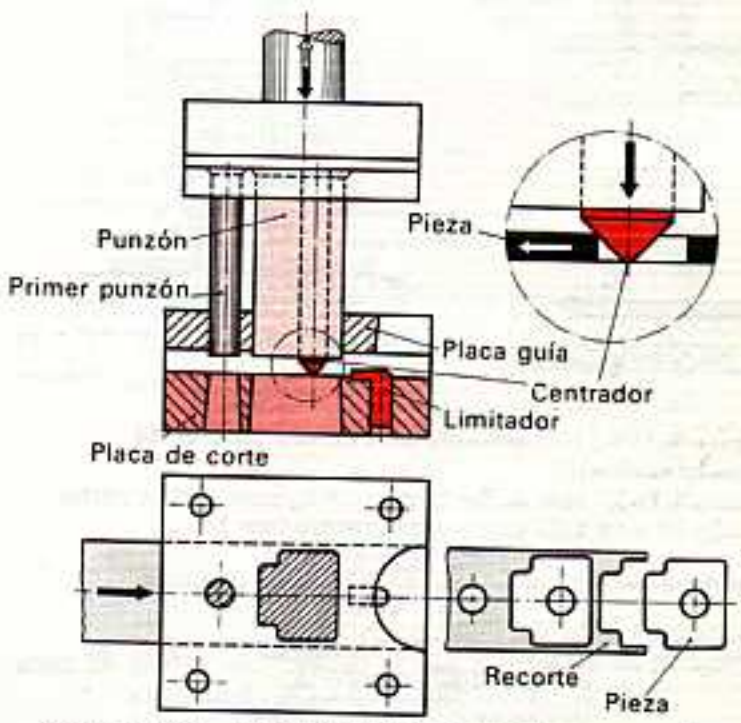


Figura 3-156. Tipo de trabajo realizado con una herramienta de corte progresivo.

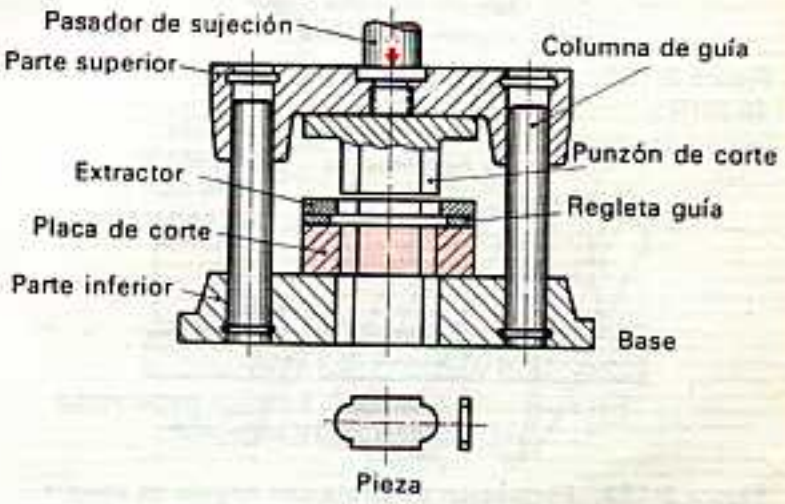


Figura 3-157. Herramienta de corte con guías de columnas.

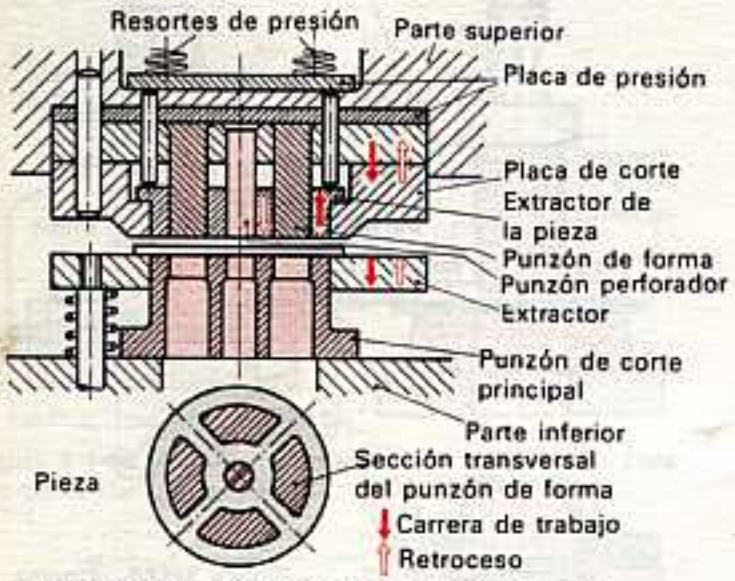


Figura 3-158. Herramienta de corte completo.

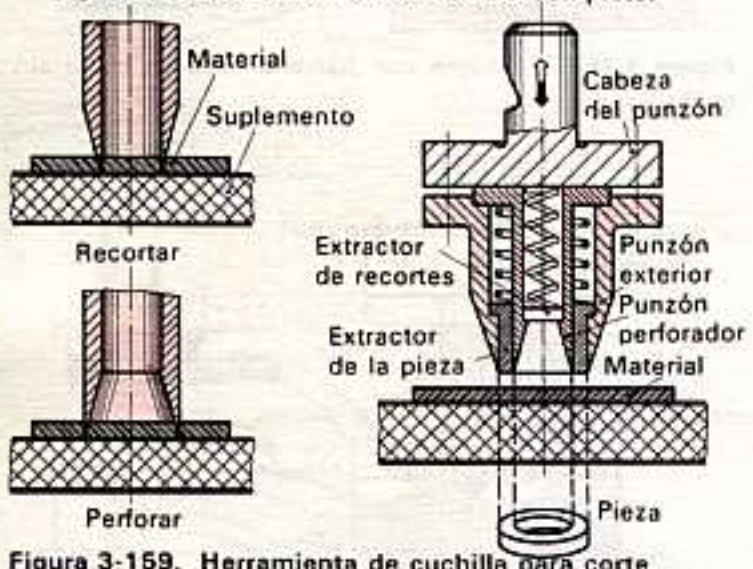


Figura 3-159. Herramienta de cuchilla para corte y perforación (iz.).
Figura 3-160. Herramienta de cuchilla para corte y perforación en una sola carrera de trabajo (der.).

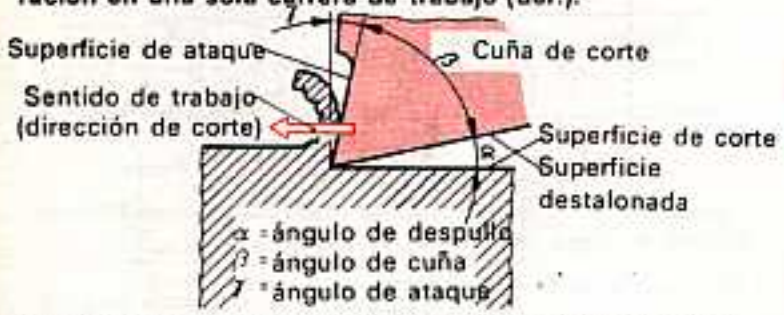


Figura 3-161. Acción de arranque de viruta en la cuña de corte.

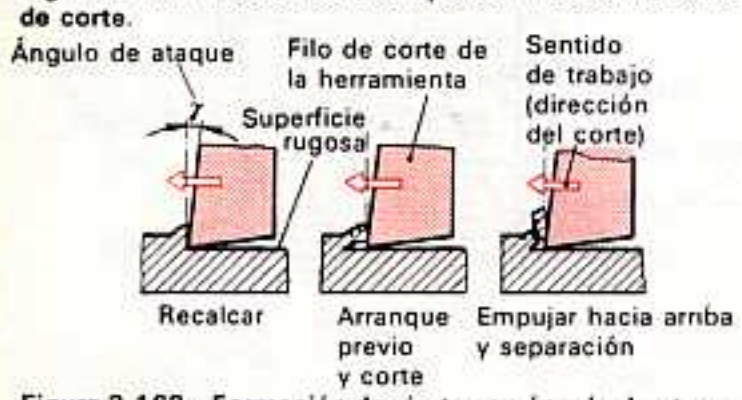


Figura 3-162. Formación de viruta con ángulo de ataque pequeño.

Troquel de corte con cuchillas

Se utiliza para recortar formas interiores y exteriores en línea cerrada en cuero, cartón, plástico, goma y materiales de juntas. Los filos, semejantes a cuchillas, poseen un ángulo de cuña de aprox. 20°.

Para conseguir bordes de corte rectangulares, los filos de las cuchillas son verticales por el interior para las formas exteriores, y por el exterior para las formas interiores. Con herramientas de corte de este tipo pueden realizar también las formas interiores y exteriores en un solo proceso de trabajo (herramienta combinada). Para proteger los filos, se colocan debajo del material que se va a cortar bases de madera dura o tela prensada.

3.5 Separación por arranque de viruta a mano

3.5.1 Forma de actuación de la cuña de corte

FORMA DE LA CUÑA Y TRABAJO DE ARRANQUE DE VIRUTA

Mediante el avance de la cuña de corte en forma paralela a la superficie superior de la pieza, se forma una viruta.

Para ello, las superficies deben ser lo más planas posible, la fuerza empleada reducida, el tiempo de trabajo corto y el de duración de la herramienta (vida útil) lo más largo posible. Para lograr esos objetivos debe prestarse atención al ángulo del filo de la herramienta.

El **ángulo de cuña** B es el formado por la superficie de ataque (hombro del útil) y la superficie destalonada. Cuanto menor es el ángulo de cuña, menor es el gasto de energía (véase la descomposición de fuerzas en la cuña). Pero el ángulo de cuña debe estar adaptado al material a trabajar. Una cuña estrecha se parte cuando la dureza del material a trabajar es demasiado grande.

Cuanto más duro sea el material, mayor ha de ser el ángulo de cuña.

El **ángulo de despullo** es el formado por la superficie destalonada y la de corte. De él dependen el rozamiento y el calentamiento del material. Debe escogerse de manera que la herramienta corte con suficiente libertad. Los materiales blandos requieren un gran ángulo de despullo, pues producen una gran fricción y calentamiento.

El ángulo de ataque, influye en la forma de la viruta. Es el ángulo formado por la superficie de ataque y el plano de referencia de la herramienta (superficie imaginaria perpendicular a la superficie de corte).

Ángulo de ataque pequeño (γ entre 0° y 8°). El material es fuertemente recalcado delante de la cara de ataque. En materiales duros se forma delante del corte un arranque prematuro. Los pedacitos de material arrancados se deshacen en virutas fragmentadas. La mayor fuerza de corte se presenta justo antes del arranque de los pedacitos de viruta. Debido a ese cambio en la fuerza de corte, la herramienta se flexa alternativamente y da como resultado que la superficie de trabajo no sea plana. Cuanto más duro sea el material y más gruesa la viruta, más basta será la superficie de corte.

Angulo de ataque grande. Se produce sólo un pequeño aplastamiento del material. La viruta no se fragmenta, sino que permanece unida y **plástica.** Como la herramienta sólo está sometida a pequeñas variaciones de carga, la superficie de trabajo resulta lisa.

EFECTO DEL ÁNGULO DE ATAQUE POSITIVO O NEGATIVO

Si el ángulo formado por la superficie de ataque y la perpendicular queda fuera de la cuña, se dice que es **positivo**. El filo de la herramienta realiza una acción cortante. Si dicho ángulo queda dentro de la herramienta se tiene un ángulo de ataque **negativo.** La herramienta trabaja rascando. Al rascar, el arranque de material es reducido.

Los ángulos de despullo y de cuña son siempre valores positivos. El ángulo de ataque puede tener también un ángulo de valor negativo.

Angulo de despullo + Ángulo de cuña + Ángulo de ataque
Cuando γ es positivo: $\alpha+\beta+\gamma=90°$
Cuando γ es negativo: $\alpha+\beta-\gamma=90°$

3.5.2 Cincelado

HERRAMIENTAS DE CINCELADO

Al cincelar se introduce el filo de la herramienta en el material mediante golpes.

Como subgrupo del proceso de fabricación, el arranque de viruta con filos de perfil geométrico determinado, está el **cincelado.**

Los nombres de las partes del cincel son: cabeza, mango y filo. El cincel debe ser más duro que la pieza a trabajar. Los materiales empleados en la construcción de cinceles son aceros para herramientas aleados.

El cincel sirve para seccionar y arrancar viruta. Los valores empíricos para el ángulo de cuña del filo del cincel son:
aluminio y sus aleaciones blandas B = 30° a 40°; cobre B = 50° a 60°; aceros al carbono sin templar, fundición gris, acero fundido B = 65° a 70°, acero aleado, fundición dura B = 75° a 85°.

① **Cortafríos:** el tipo de cincel más corriente. Para labrar superficies, separar y quitar rebabas.
② **Saeta**, punzón de mano: para eliminar el material que queda entre taladros.
③ **Cincel de contornear:** el filo es convexo. Para cortar ranuras curvas y redondeadas en chapas.
④ **Cincel agudo:** el filo cortante y el mango forman una cruz. Para abrir ranuras.
⑤ **Buril de boca redonda:** para hacer ranuras de engrase en cojinetes.

EL MARTILLO COMO HERRAMIENTA DE PERCUSIÓN

Se compone de cabeza (peña y cotillo) y mango. La calidad del acero debe ser como mínimo C45. Para evitar daños en cierto tipo de

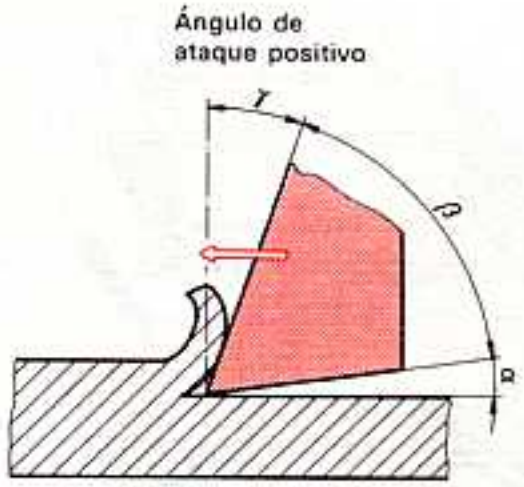


Figura 3-163. Acción cortante con ángulo de ataque positivo.

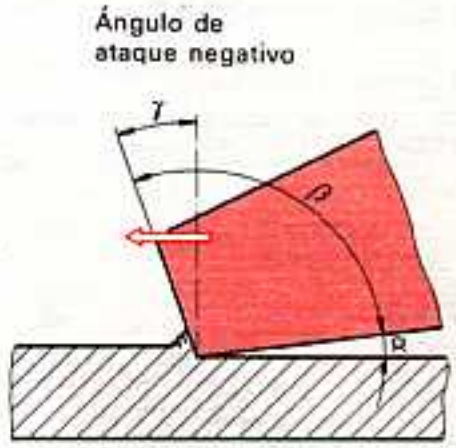


Figura 3-164. Acción de rascado con ángulo de ataque negativo.

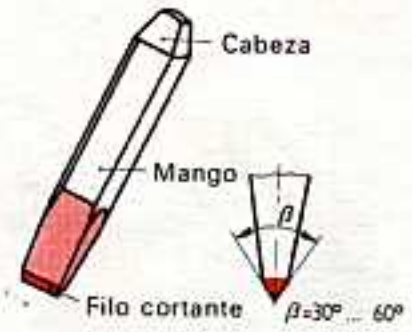


Figura 3-165. Cincel plano.

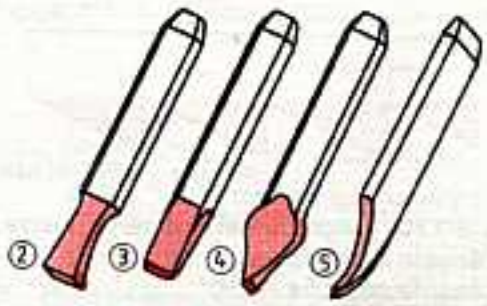


Figura 3-166. Distintos tipos de cinceles.

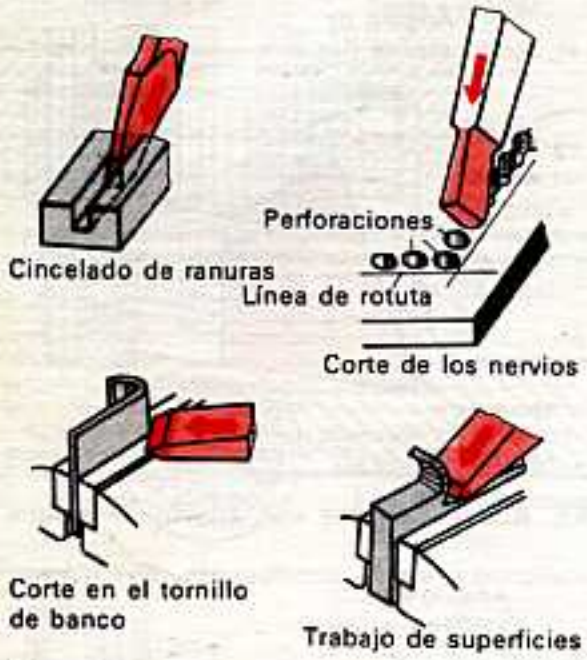


Figura 3-167. Distintos trabajos de cincelado

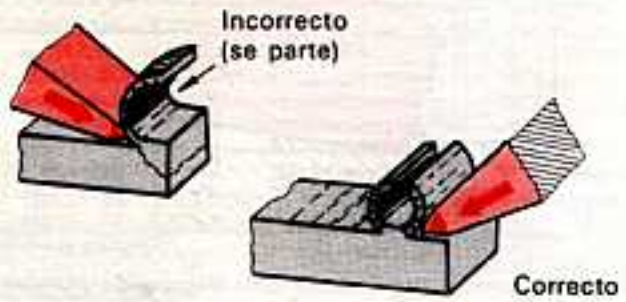


Figura 3-168. Cincelado de bordes.
Al final arrancar viruta de fuera hacia adentro.

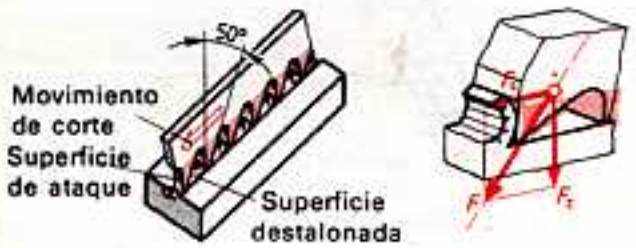


Figura 3-169. Formación de viruta en el aserrado.

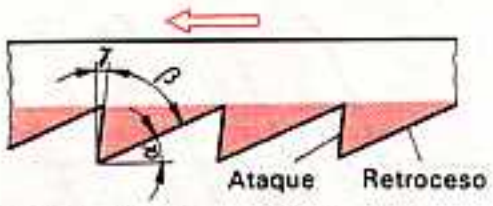


Figura 3-170. Ángulos del diente de sierra.
α = ángulo de despullo ≈ 38°
β = ángulo de cuña ≈ 50°
γ = ángulo de ataque ≈ 2°

piezas, se utilizan martillos de plomo, cobre, goma, plástico o madera.

El mango debe ser de madera de fresno de fibras rectas y sus astillas. En el martillo macho (martillo de fragua), debe ser de nogal negro. El peso del martillo debe estar adaptado a la pieza, al material, y a la fuerza de aplicación.

El martillo obtiene la energía necesaria de su masa (m) y de su velocidad (v), la cual le es proporcionada por la mano o el brazo. Fórmula: Wk $m \cdot v^2$. A doble masa doble energía, pero a doble velocidad la energía se cuadruplica.

TRABAJOS DE CINCELADO

La elección del cincel correcto se hace en función del trabajo a realizar. El golpe que ha de darse sobre el centro de la cabeza, debe seguir la dirección del eje del cincel. La mirada debe seguir el proceso de corte.

Durante el trabajo de cincelado la pieza debe estar fuertemente sujeta. Al afilar el cincel debe conservarse el ángulo de cuña correcto (comprobar con calibre de ángulos). Debe ser refrigerado convenientemente para evitar el recocido del filo. Las estrías resultantes del afilado son eliminadas con una pieza de repasar. Con ello se logra una mejor capacidad de corte.

Peligro de accidente

Debido a la fuerza del martillo se forma en la cabeza del cincel una rebaba que, por la acritud del material, es dura y frágil y debe ser rebajada con la muela. —Las virutas despedidas ponen en peligro al operario y a sus compañeros, por ello, durante el trabajo de cincelado debe usarse gafas de protección.— Substituir inmediatamente los mangos de martillo defectuosos. —Prestar atención a las normas sobre prevención de accidentes.

3.5.3 Aserrado

FORMACIÓN DE VIRUTA EN EL ASERRADO

En la sierra trabajan varias cuñas de corte una tras otra.

Las sierras se emplean para separar, y para mecanizar aberturas y ranuras.

La fuerza F de arranque de viruta de la sierra es producida por el movimiento horizontal de la hoja de sierra como diagonal del paralelogramo de fuerzas, que está compuesto por la fuerza vertical aplicada F_z, por ejemplo, la manual, y la horizontal de avance o empuje (fuerza de corte F_c).

Relación entre el paso de los dientes de sierra y el material

Los dientes son cuñas de corte pequeñas situadas unas tras otras. La forma de los dientes y los huecos entre los mismos (entredientes) se determinan de acuercdo con el material que deba ser trabajado. Los

entredientes recogen las virutas durante el aserrado y las guían para expulsarlas de la ranura de corte. Por ese motivo, en materiales blandos deben ser mayores. En materiales duros el efecto de corte de cada diente es menor, pero es mayor el número de dientes atacando al mismo tiempo. El número de dientes también se rige por la longitud de corte. Como mínimo dos dientes deben atacar siempre en la pieza. Por ello, p. ej., para tubos debe escogerse un paso de dientes muy fino.

Se distingue		Número de dientes
ancho	materiales blandos	18 Z/25 mm
medio	materiales duros	24 Z/25 mm
fino	materiales muy duros	32 Z/25 mm

Corte de sierra sin agarrotamiento

Por arranque de viruta se calientan el material y la hoja de la sierra debido a la fricción. Este calentamiento puede producir en ambos la soldadura en frío de pequeños fragmentos de metal en la ranura del corte (agarrotamiento), provocando el bloqueo de la hoja. Para evitar esto, la ranura debe ser más ancha que el espesor de la hoja de sierra. Esto se consigue mediante el triscado, ondulado, o vaciado hueco de la hoja de sierra.

En el triscado (fundamentalmente para trabajar materiales blandos) cada uno de los dientes, dos a dos se doblan alternada y simétricamente hacia la izquierda y la derecha.

En el ondulado se dobla un mayor número de dientes (aproximadamente seis o siete) hacia la izquierda y el mismo número hacia la derecha respectivamente. El ondulado es especialmente indicado para dentado fino.

Con vaciado hueco o recalcado hojas de sierra más fuertes obtienen filos de diente más anchos, para facilitar el corte sin bloqueo.

ASERRADO MANUAL DE METALES

Se trabaja por empuje, por lo cual los dientes están orientados en sentido contrario al mango y tienen en general triscado ondulado. La hoja se tensa por medio de una tuerca de mariposa para evitar la vibración.

Para que los dientes de la hoja de sierra no se partan, al comenzar a serrar la hoja debe estar ligeramente inclinada respecto del borde. Este debe serrarse con los dientes de pequeño paso del principio de la hoja. De ese modo, la sierra engrana inmediatamente; los bordes de corte son afilados y limpios. La hoja sólo debe cargarse en la carrera de trabajo.

SIERRAS MECÁNICAS PARA METALES

La **sierra mecánica de arco** tiene varias aplicaciones. La transmisión del movimiento a la hoja se realiza mediante excéntrica y biela con lo cual la hoja de sierra es conducida a razón de 30 a 150 carreras dobles por minuto, en una longitud de hasta 650 mm. La sierra mecánica de arco trabaja por tracción. Durante la carrera de retorno, la hoja es levantada mediante una excéntrica.

La **sierra circular** está indicada para el trenzado de piezas gruesas o anchas. Se utilizan discos de acero de una sola pieza o con dientes postizos.

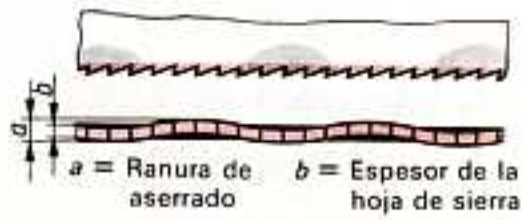


Figura 3-171. Corte sin agarrotamiento mediante ondulado.



Figura 3-172. Corte sin agarrotamiento mediante triscado.

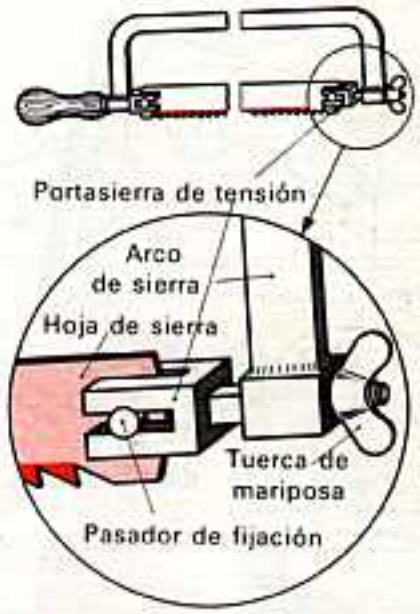


Figura 3-173. Sierra de mano para metales.

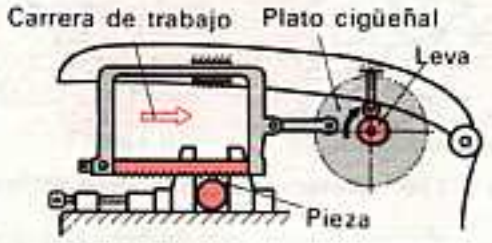


Figura 3-174. Sierra mecánica de arco.

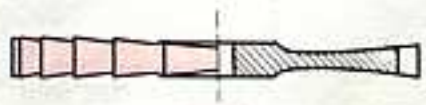


Figura 3-175. Hoja de acero de una sola pieza con dientes destalonados.

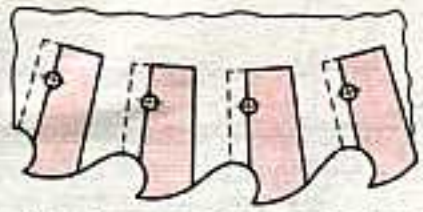


Figura 3-176. Hoja de acero de una sola pieza con dientes postizos.

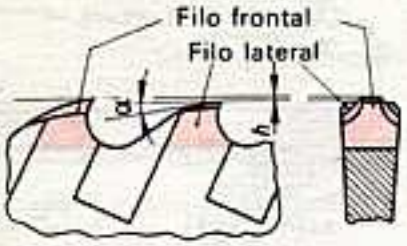


Figura 3-177. Hoja de sierra con dientes postizos de actuación diferente.

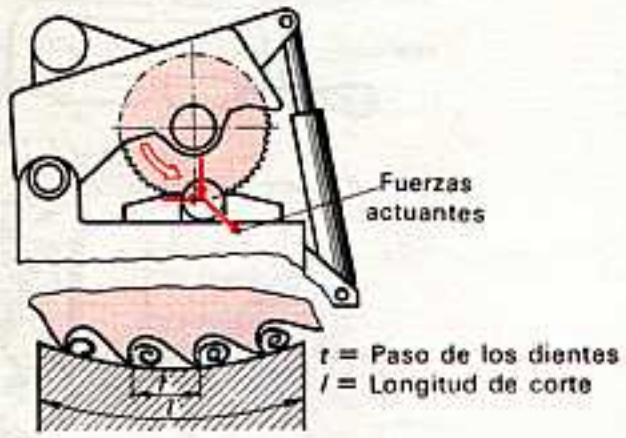


Figura 3-178. Sierra circular.

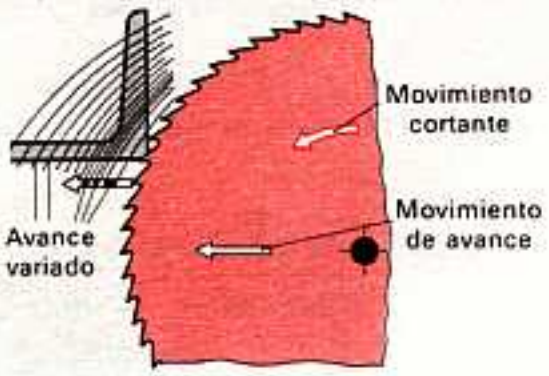


Figura 3-179. Movimiento de avance de la sierra circular.

Los **discos de sierra de una sola pieza** se utilizan para tronzar tubos de acero de poco espesor de pared y metales no férreos. Los dientes van triscados o destalonados.

Los **discos de sierra de dientes postizos** constan de un cuerpo de hoja de acero para herramientas y segmentos dentados de acero rápido de alto rendimiento. Se utilizan para serrar acero y materiales de fundición. Primero el afilado frontal del diente ejecuta un pequeño arranque de viruta y a continuación el afilado lateral determina la anchura del corte, arrancando virutas de la derecha y de la izquierda.

El **paso de los dientes** debe estar adaptado a la longitud del corte y al material, ya que la viruta permanece en los entredientes durante toda la longitud de aserrado.

Regla nemotécnica: Paso fino de dientes para cortes cortos y materiales duros, paso ancho de dientes para cortes largos y materiales blandos.

El **avance** es, en la mayoría de los casos, regulable sin escalonamiento. En sierras grandes el avance se ajusta automáticamente a la correspondiente fuerza de corte. Como medio de refrigeración y lubricación se utiliza taladrina (mezcla de aceite y agua).

En la **sierra de cinta**, una banda de sierra sinfin corre sobre dos rodillos (casi siempre el inferior es el de accionamiento). Como la cinta de sierra es estrecha, se pueden realizar cortes curvos.

La **tronzadora** (máquina de corte rápido) tiene un disco de acero que alcanza velocidades muy elevadas (velocidad lineal de hasta 80 m/s) y unas escotaduras muy finas en forma de dientes en la periferia. El disco de tronzar ejerce una gran fuerza contra la pieza a cortar. El calor de fricción producido calienta el material en el punto de corte de manera tan pronunciada, que éste se funde y es expulsado de la ranura de separación por la fuerza centrífuga.

Prevención de accidentes

Las máquinas de serrar entrañan un gran riesgo de accidentes. Las bandas de sierra de cinta deben encerrarse en cápsulas y las de sierra circular bajo cubiertas. Al serrar de lado a lado pueden producirse heridas con gran facilidad. Las hojas demasiado tensas pueden partirse. Comprobar si la sierra tiene fisuras. Sujetar las piezas pequeñas o guiarlas con un trozo de madera. No aumentar la fuerza de corte más de lo necesario.

3.5.4 Limado

FORMA Y SUBDIVISIÓN DE LAS LIMAS

Las limas son herramientas dentadas para arrancar viruta.

Las limas se forjan de un trozo de acero apropiado y se recuecen. Posteriormente se rectifican y se enderezan. Una vez tallada o fresada la picadura superior y la inferior, las limas se templan y la espiga se somete a un revenido.

Limas talladas y limas fresadas

Durante el limado actúan varios filos de cuña de la lima simultáneamente. La resistencia al arranque de viruta ejercida por el material debe ser superada por el empuje de la mano. En materiales

duros sólo pueden desprenderse, pues, virutas pequeñas, y grandes si el material es blando. Por ello, las limas de taller para materiales duros tienen una cuña de corte con un ángulo de ataque negativo. Existen limas talladas con un cincel para limas, que realizan una acción de rascado.

Las limas fresadas para materiales especialmente blandos tienen un ángulo de ataque de 0°. Producen un efecto cortante y posibilitan un gran arrastre de material. Sus huecos entre rayados, grandes y redondeados, facilitan la evacuación de la viruta. Las limas fresadas están normalizadas en DIN 8349, en limas con dentado 1 hasta 3. Las limas de dentado 1 para gran arrastre de material, tienen 3,5 dientes por cada cm de cuerpo de lima, las de dentado 2, 4,7 dientes/cm y las de dentado 3, 7,1 dientes por cm de longitud, para pequeños arrastres de material.

Tipos de picado de las limas

Para trabajar materiales blandos como plomo, aluminio, estaño, zinc y cobre se utilizan limas de **picado sencillo**. En éstas las virutas no se incrustan fácilmente.

En el picado sencillo en diagonal las virutas son despedidas lateralmente, en el picado sencillo en arco son despedidas hacia ambos lados. Interrupciones en las cuñas de corte (ranuras de rotura de las virutas) actúan rompiendo la viruta y facilitan su evacuación.

Las escofinas tienen un picado graneado y según su longitud y número de picado, 7 a 28 estrías por cm² de superficie labrada. Encuentran aplicación en madera, cuero y tejido prensado (ilustraciones v. pág. 156). Para trabajar materiales más duros, como acero, materiales fundidos, y aleaciones no férreas, se emplean limas de **picado en cruz** (picado doble). En las hojas de éstas limas el picado superior y el inferior están tallados con distintos ángulos y distancias entre estrías. En el lugar de cruce del picado inferior con el superior, se forman cuñas de corte con ángulo de ataque negativo. Cada cuña produce estrías en el material, pero al estar ordenadas en forma continua, se evita la pronunciada formación de estrías en la pieza. Normalmente el picado inferior es más grueso que el superior. La clase y el ángulo del picado se rigen por el tipo de aplicación.

Densidad y valor de picado

El número de estrías por cm de longitud de lima en la dirección del eje de ésta se denomina densidad de picado. Están normalizadas limas con densidad de picado del 6 al 34, referido a las estrías superiores del picado en cruz. A mayor densidad de picado, menor distancia entre estrías. Una lima estampada de una longitud determinada se fabrica en cuatro densidades de picado diferentes, clasificadas con los números 1 al 4 (valor de picado).

Ejemplo: Longitud de lima (sin cola) 250 mm

Valor de picado:	1	2	3	4
Densidad de picado:	8	13	17	21

Subdivisión y denominación

Se distinguen las limas de taller, limas para llaves y limas de afilado. Las formas de las secciónes transversales se denominan con las letras desde la A hasta la H. Mediante marcas se indica en qué lados del cuerpo de la lima están trabajados los picados. Denominación de una lima de taller de forma A, de 200 mm de largo y valor de picado 3:

Lima de taller DIN 7261 — A 200 — 3

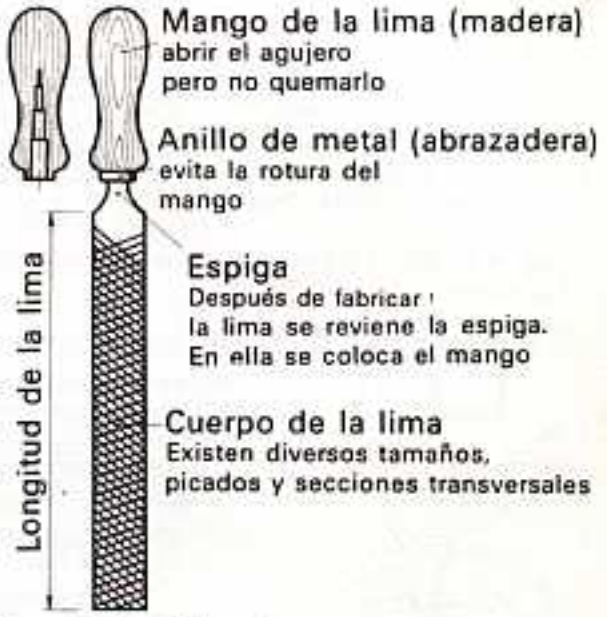


Figura 3-180. Lima de mano.



Figura 3-181. Limas talladas
con ángulo de ataque negativo y acción de rascado.

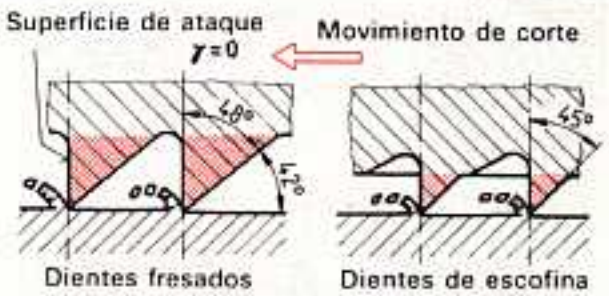


Figura 3-182. Picado inferior de los dientes de la lima



Picado inferior 70°, picado superior 51°

Figura 3-183. Limas con picado cruzado.



Figura 3-184. Densidad de picado y valor de picado.

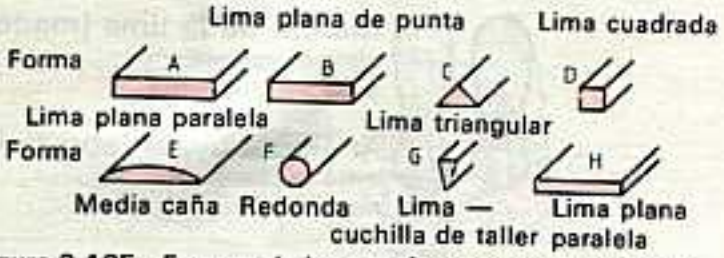
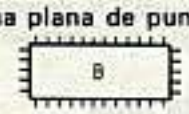


Figura 3-185. Formas de las secciones transversales de las limas.

Lima plana de punta, de taller



Ambas superficies anchas tienen picado cruzado, los costados tienen picado sencillo

Lima-cuchilla de taller



Ambas superficies anchas tienen picado cruzado, el lomo no tiene picado

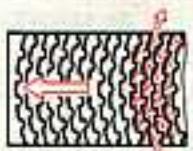
Figura 3-186. Designación de las limas y explicaciones.



Picado simple



Picado cruzado



Picado con rompevirutas



Picado de escofina

Figura 3-187. Limas con distintos picados.

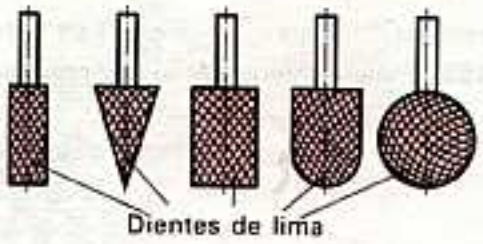


Figura 3-188. Limas de vástago.

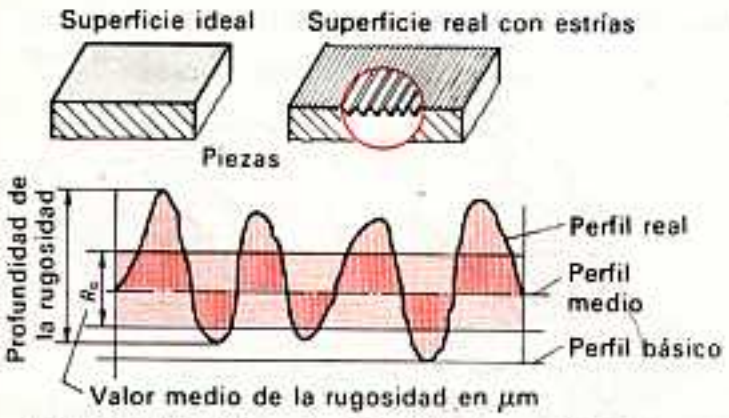


Figura 3-189. Presentación del valor medio de la rugosidad.

Limas especiales son, entre otras, las limas de disco y las limas de vástago rotativas (llamadas también «turbo» o limas de movimiento circular). En las limas de disco la pieza a trabajar es presionada contra la placa rotativa. Las limas de vástago son accionadas, directamente o a través de un eje flexible, por un motor eléctrico. Se aplican al trabajo de formas y ranuras de engrase. La elección válida es: materiales duros: división fina de dientes y bajas revoluciones. Materiales blandos: división gruesa de dientes y velocidad más elevada.

EL TRABAJO CON LA LIMA

Elección de la lima

De la correcta adaptación de la lima al trabajo limado requerido dependen el tiempo invertido y el acabado superficial de la pieza.

Las limas con una densidad de picado pequeña levantan más material y con ello acortan el tiempo de trabajo, pero producen rayas de limado más pronunciadas. Si la utilidad funcional de la pieza exige un acabado determinado de la superficie, debe indicarse en los planos técnicos por medio de símbolos. Según DIN ISO 1302 debe indicarse la rugosidad media R_a en µm (1 µm = 0,001 mm) o el número de grado de rugosidad N asignado. Por profundidad de las asperezas se entiende la distancia entre el punto más alto y el más bajo del perfil de la superficie (perfil real). Como rugosidad media se designa la desviación media del perfil real respecto de un perfil medio calculado.

Ejemplo: Un acabado superficial $\overset{6,3}{\nabla}$ significa que una superficie limada tiene una rugosidad media R_a = 6,3 µm.

Rugosidades medias que pueden obtenerse con el limado, de R_a = 12,5 µm a R_a = 0,2 µm, grado de rugosidad números N10 hasta N 4. Los principales trabajos de limado son el limado superficial, el desbaste, el acabado y el acabado fino.

El limado superficial se realiza para eliminar irregularidades de piezas duras de fundición. Para ello se utilizan preferentemente limas usadas.

Se **desbastan** piezas cuando el rebajado del material debe superar los 0,5 mm. Las limas de desbatar tienen una densidad de picado de 6 al 10. Las rayas de limado son palpables y visibles a simple vista. Indicación en planos $\overset{12,5}{\nabla}$ ó $\overset{N10}{\nabla}$.

El **acabado** se realiza para un rebaje de material de 0,5 a 0,2 mm. Las limas de acabado tienen una densidad de picado del 10 al 34. La superficie de la pieza es alisada. Las rayas del limado son todavía visibles a simple vista. Indicación superficial en planos $\overset{3,2}{\nabla}$ o $\overset{N8}{\nabla}$.

El **acabado fino** se realiza para un rebaje de material de menos de 0,2 mm. Se utilizan limas de acabado doble con densidades de picado entre 40 y 70. Las limas de acabado doble no están normalizadas. Las rayas del limado ya no se distinguen a simple vista. Indicación superficial en planos $\overset{0,8}{\nabla}$ o $\overset{N6}{\nabla}$.

Cuidado de la lima

Las virutas adheridas a las limas de pequeña densidad de picado se limpian con la ayuda de una carda; en limas de alta densidad de picado, por medio de un limpiador de limas (CuZn 58, 100 × 20 × 2, chapa). Frotando la lima con tiza se reduce la adherencia de las virutas.

Reglas de trabajo

Para proteger las piezas utilizar mordazas de protección apropiadas. No tocar las superficies a trabajar, pues la lima engranaría defectuosamente. Engrasar finamente las superficies limadas en la dirección del limado.
Para controlar mejor el arranque de la viruta, el movimiento de la lima debe ser cruzado y capa por capa.

SUJECIÓN DE LAS PIEZAS

Todas las piezas deben fijarse en lo posible en el centro de las mordazas del tornillo de banco. Las superficies ya trabajadas se protegen mediante mordazas de material blando. Pueden fijarse chapas largas en el tornillo de banco mediante angulares de sujeción. Las espigas pueden limarse fijándolas mediante un tornillo de mano y colocándolas sobre una madera para limado. Si lor bordes de la pieza deben ser biselados, se utilizará para su sujeción una mordaza de fijación inclinada.

Prevención de accidentes

No debe trabajarse con una lima sin mango. En caso de encotrar resistencia, la cola se clava con facilidad en la mano. Al caerse una lima sin mango, puede producir heridas en los pies.
Comprobar que el mango esté fijado firmemente, que tenga el tamaño adecuado y que no esté roto. Vigilar también que la iluminación sea correcta y suficiente.

Rugosidad media R_a en µm	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5
Índice de rugosidad	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10

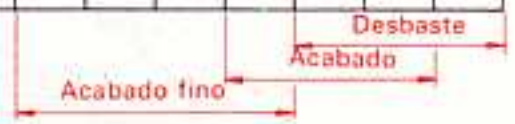


Figura 3-190. Rugosidad media e índice de rugosidad.





Figura 3-191. Fijación de piezas para limarlas.

3.5.5 Rasqueteado

RASQUETEADO Y MARMOLEADO

El rasqueteado y el marmoleado son métodos de fabricación destinados al superacabado manual para mejora del acabado superficial y la precisión de medida.

El rasqueteado y el marmoleado conforman la terminación de muchos métodos de fabricación. En los trabajos de limado, cepillado y fresado, siempre quedan rayas en la superficie trabajada. Si se hacen deslizar entre sí superficies de piezas con rayas, éstas operan una gran resistencia al deslizamiento y las superficies se desgastan considerablemente.

Mediante el rasqueteado se eliminan los rebordes de las rayas. Las porciones de superficie portante aumentan de esta forma en un 80%. Las superficies rasqueteadas proporcionan un cierre hermético perfecto.

La rasqueta es una herramienta de arranque de viruta

La rasqueta debe arrancar viruta fina. Para lograrlo, durante el rasqueteado la herramienta se inclina respecto a la pieza. De esta forma trabaja con ángulo de ataque negativo.

Las rasquetas normalizadas en DIN 8350 son la plana (forma A) para el rasqueteado de superficies de piezas planas, la rasqueta triangular (forma B) y la rasqueta triangular acanalada (forma C) para piezas abovedadas. Para estas superficies también se aplican otros tipos de rasqueta, como la de cuchara y para el rasqueteado final la rasqueta bruñidora.

En el **rasqueteado en desbaste** de una superficie plana

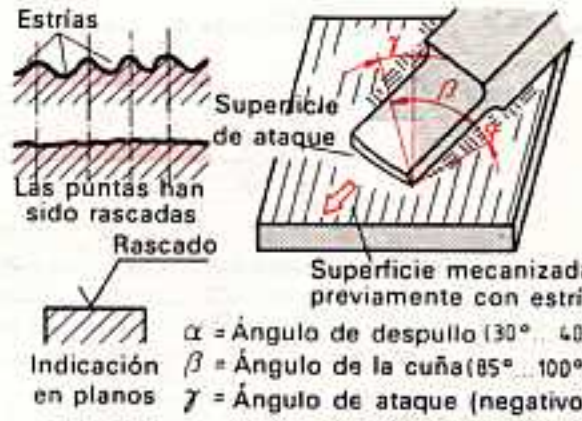


Figura 3-192. Ángulo en la rasqueta plana.

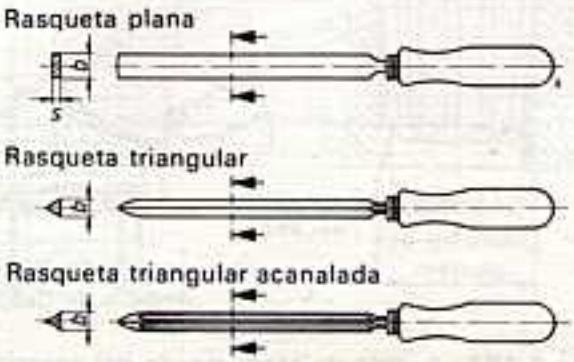


Figura 3-193. Formas de las rasquetas.



Figura 3-194. Movimiento de rasqueteado.

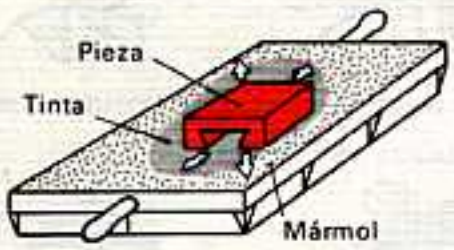


Figura 3-195. Mármol para entintar.



Figura 3-196. Superficie entintada de una pieza.

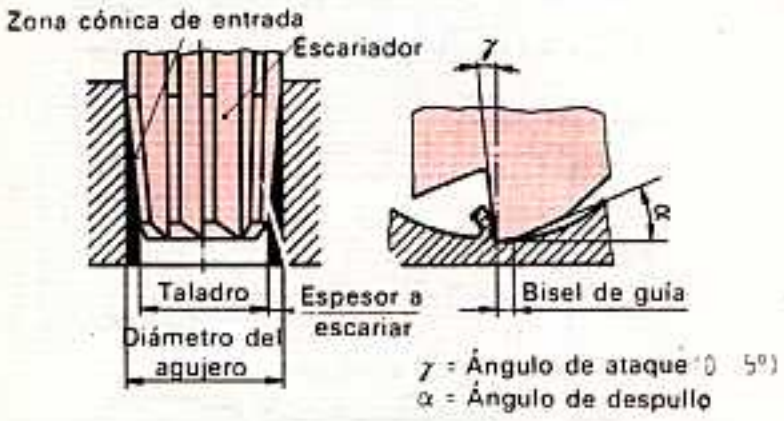


Figura 3-197. Acción de rasqueteado del escariador.

mecanizada, deben darse con la rasqueta pasadas largas y con fuerza creciente, en sentido oblicuo a las rayas, para evitar que la herramienta se enganche. Para evitar la ondulación del material, después de cada pasada debe variarse su orientación 90°.

Mediante el **marmoleado** se alisa la planicidad del material rasqueteado en desbaste. Con un trapo o una badana se aplica al mármol una fina capa de tinta china (azul de Berlín) y se frota la pieza sin apretar, cambiando constantemente de dirección.

En la superficie de la pieza se forma una imagen, en la cual las partes no tocadas por la tinta por estar huecas (concavidades) permanecen con brillo metálico, las partes en contacto, en cambio, se ponen de color azul claro y las partes de los bordes, debido a la tinta arrastrada, azul.

En el **rasqueteado de acabado** las partes salientes (las menos marcadas por la tinta) se rebajan con movimientos cortos y ligeramente arqueados (rasqueteado localizado). Se ha logrado una buena acción de deslizamiento entre las superficies de dos piezas cuando, después del rasqueteado de acabado, son visibles entre 5 y 10 puntos distribuidos regularmente (puntos de contacto) por cm^2 de superficie de la pieza.

En piezas grandes se pasa una regla de filo sobre la misma.

Para el rasqueteado de desbaste no es necesario marmolear. Rasquetear siempre con una herramienta afilada. Al retroceder debe separarse la rasqueta de la pieza. Para realizar el rasqueteado localizado, la superficie de la pieza debe haber sido rasqueteada previamiente. Utilizar el mármol sólo para el marmoleado.
Aplicar sólo una fina capa de tinta.
Después de su utilización, el mármol debe limpiarse con un trapo de lana limpio y con aceite, engrasarse y taparse.

3.5.6 Escariado

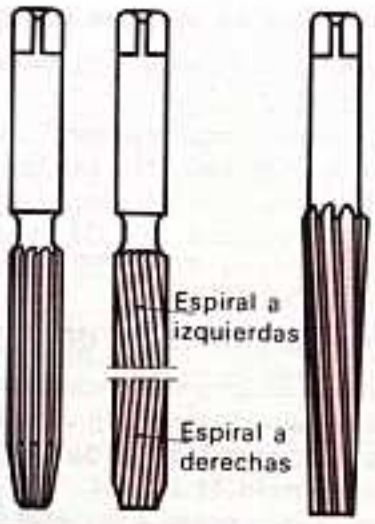
PROCESO DE ESCARIADO

Mediante el escariado se consigue una gran precisión de medida, forma y acabado superficial de agujeros cilíndricos y cónicos.

Con los escariadores se realizan taladros con gran precisión de medida y acabado superficial, con lo que se consigue un buen asiento para pasadores cilíndricos y cónicos, y las espigas y pernos pueden ajustarse con un juego reducido.

El ángulo de ataque de la cuña es de aproximadamente 0°, de manera que se ejerce una acción de rasqueteado. Como el proceso de arranque de viruta se distribuye entre varias cuñas de corte (6 a 14), cada filo arranca una viruta muy fina. El orificio se taladra con un diámetro algo menor, de modo que quede el espesor que se va al escariar. Para escariadores no extensibles debe ser como máximo 0,3 mm, menos de radio y para escariadores extensibles 0,1 mm menos de radio.

Las virutas arrancadas se quiebran. En el punto de rotura puede quedar una pequeña concavidad en la pared. Si el escariador tuviera una disposición simétrica, las virutas se quebrarían siempre en el mismo lugar. Los dientes se engancharían en las concavidades y



Escariadores manuales
Izquierda: No extensible, ranurado recto, corte hacia la derecha.
Centro: Escariador ranurado en espiral con ranurado a izquierdas o a derechas, ángulo de espiral ≈ 25°.
Derecha: Escariador cónico, escariador de acabado con cono 1:50.

Figura 3-198. Escariadores manuales no extensibles.

formarían la llamadas marcas de retemblado que disminuyen la calidad de la terminación superficial. Los escariadores tienen por ello un número par de dientes, pero distribución angular desigual.

ESCARIADORES

En los **escariadores de ranurado en espiral**, durante el proceso de corte la fuerza de corte se descompone en dos una horizontal y otra vertical. En el caso de que la espiral sea a derechas, actúa la fuerza vertical del mismo modo que en un sacacorchos y el escariador es arrastrado hacia el interior del agujero. En el caso de espiral a izquierdas, la espiral y la dirección de giro tienen sentidos opuestos. Por ese motivo, dichos escariadores no son arrastrados hacia el interior del agujero.

Los **escariadores no extensibles** se fabrican de una sola pieza (acero para herramientas o acero rápido). Los manuales tienen en el extremo del vástago cilíndrico un cuadradillo para fijarlo al giramachos.

Los **escariadores ajustables** se ajustan después de cada afilado. Mediante un perno cónico el cuerpo cortante ranurado puede calarse hasta 1/100 del diámetro nominal. En otros escariadores las cuchillas incorporadas pueden ajustarse en cualquier medida intermedia en una superficie inclinada, dentro de un campo diametral determinado, por ejemplo, de 60 a 65 mm.

Aplicaciones: Para taladros pasantes o agujeros ciegos de hasta $1 \times d$ de profundidad (d = diámetro del taladro) se emplean escariadores de ranurado recto, mientras que para grandes profundidades se utilizan los de ranurado en espiral. En este caso los escariadores de espiral a derechas sólo se emplean para agujeros ciegos profundos.



Figura 3-199. Número de dientes y su distribución en los escariadores.
Para evitar las marcas de retemblado, los escariadores tienen un número par de dientes y una distribución angular desigual.



Figura 3-200. Escariador manual extensible.
La fijación de las cuchillas se realiza mediante piezas de sujeción o en ranuras por medio de tuercas. Las cuchillas son desplazables sobre planos oblicuos.

3.5.7 Tallado de roscas

FORMA DE LAS ROSCAS

La rosca comparada con un plano inclinado

La forma básica de toda rosca es una entalladura que sigue el contorno de un plano inclinado arrollado alrededor de un cilindro.

Ensayo: La espiral de una rosca puede representarse haciendo rodar un perno roscado sobre un papel y con un papel de calco debajo. Del desarrollo de una rotación resulta un plano inclinado. Su pendiente equivale al paso de la rosca.

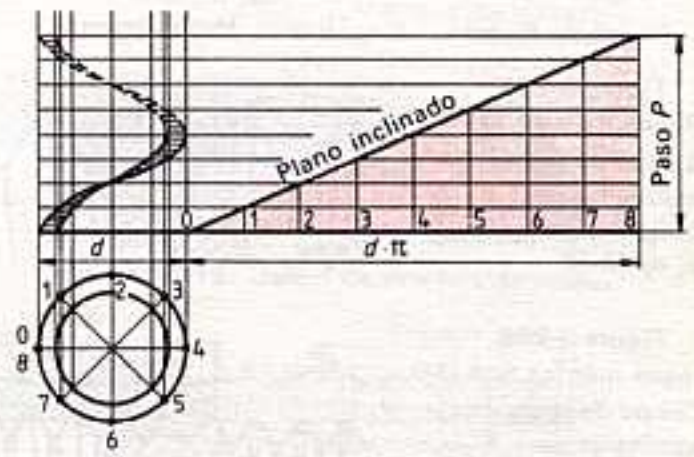


Figura 3-201. Rosca y plano inclinado.

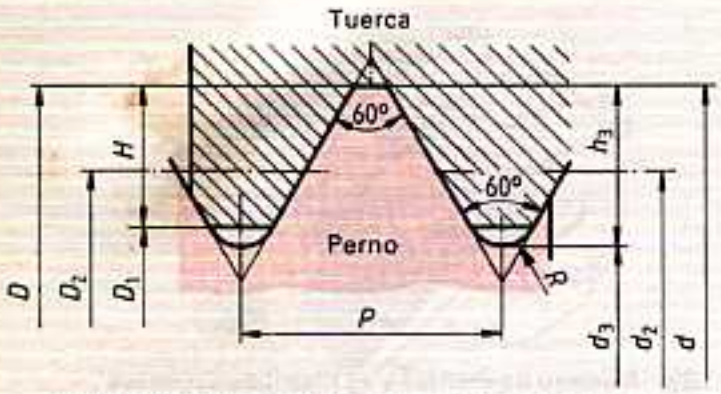


Figura 3-202. Medidas principales de una rosca. Rosca métrica ISO.



Figura 3-203. Sentido de giro de las roscas.

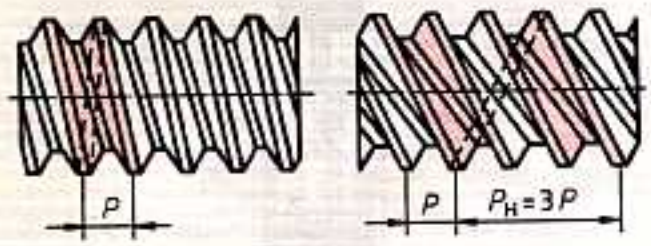


Figura 3-204. Número de hilos de las roscas.

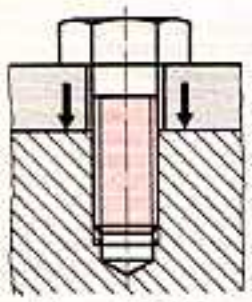


Figura 3-205. Rosca de fijación.

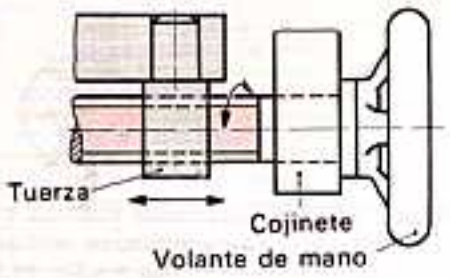


Figura 3-206. Rosca de movimiento.

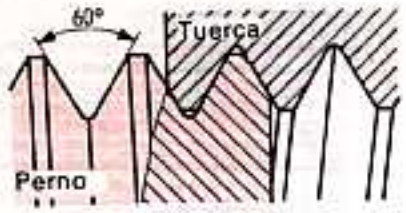


Figura 3-207. Rosca métrica ISO. Campo de diámetros nominales de 1 a 300 mm. Designación p. ej. M 10.



Figura 3-208. Rosca métrica fina ISO. Campo de diámetros nominales de 1 a 1 000 mm. Designación p. ej. M 10 × 1.

Medidas principales de una rosca

Ejemplos para rosca métrica ISO, de acuerdo con DIN 13, de dominación M 12:

Diámetro nominal (mayor básico) de la rosca $d = D = 12$ mm, paso $P = 1{,}75$ mm, diámetro efectivo (en los flancos) $d_2 = D_2 = 10{,}86$ mm, diámetro del núcleo $d_3 = 9{,}8$ mm, diámetro mínimo $D_1 = 10{,}1$ mm, profundidad de la rosca $h_3 = 1{,}07$ mm, profundidad de la rosca $H = 0{,}95$ mm, redondeado $R = 0{,}25$ mm, ángulo de flancos 60°.

Sentido de giro (dirección del avance)

Según el sentido de giro se puede distinguir la rosca a derechas (en el sentido de las agujas del reloj) y la rosca a izquierdas. Las roscas a izquierdas se designan con la denominación «LH» (Left hand = izquierda) por ejemplo M 20 LH.

Las roscas a izquierdas son necesarias en los casos en que una rosca a derechas se aflojara, p. ej., en los pedales de bicicleta o en husillos para movimiento longitudinal en un determinado sentido de giro (tensor).

Número de hilos

Existen roscas de uno y varios hilos. La rosca tiene tantos hilos como comienzos de rosca presente. Las roscas más comunes son de un solo hilo. En las roscas de doble hilo el avance es por ejemplo el doble del paso de las roscas de un solo hilo, de manera que con un pequeño giro se consigue un gran movimiento axial (prensas de husillo, tornillos sin fin). Ejemplo de denominación: Tr 48 × 16 P8.

Aplicación

Para uniones atornilladas se emplean **las roscas de fijación**, que tienen un efecto autoblocante y no pueden aflojarse sin influencias exteriores. Para transformar un movimiento rotativo en uno lineal se utilizan **roscas de movimiento**. Estas no cumplen la función de apriete. Mesas de trabajo y carros de máquinas herramientas son movidos mediante husillos con este tipo de roscas.

PERFILES DE LAS ROSCAS

Rosca métrica ISO DIN 13

Se trata de una rosca triangular con 60° de ángulo de flancos. Se distingue entre **roscas regulares** (normales) y **roscas finas**. Las roscas finas tienen un paso más pequeño. Por ello pueden apretarse con maś fuerza y ofrecer mayor seguridad contra el autoaflojamiento. Por su pequeña profundidad de rosca, precisan poco espacio y por ello la sección del núcleo se debilita poco. Son recomendables para el atornillado de árboles rebajados, ejes huecos y tubos de paredes delgadas.

Las roscas regulares se designan con la letra M y el diámetro nominal de la rosca, p. ej., M 10. En las roscas finas se indica además el paso, p. ej., M 10 × 1,5.

Roscas Whitworth

Tienen un ángulo de flancos de 55°. Vienen construidas de acuerdo al sistema inglés (pulgada) y son necesarias en repuestos y reparaciones. **Las roscas Whitworth para tubos** desempeñan un papel especial en la instalación de cañerías.

Debe distinguirse entre roscas cilíndricas interiores y roscas cilíndricas (DIN ISO 228) o cónicas (DIN 2999) exteriores. El cono es

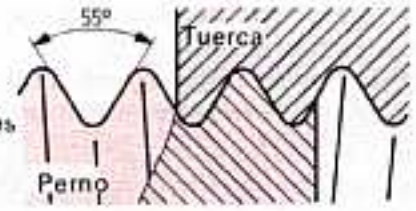


Figura 3-209. Rosca Whitworth.
Campo de diámetros nominales de 1/4" hasta 6". Designación p. ej. $1^1/_2$".

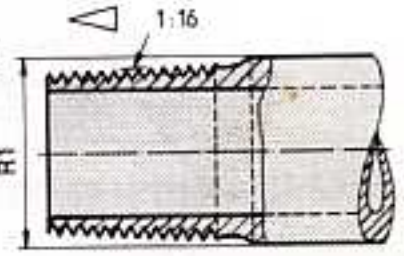


Figura 3-211. Rosca Whitworth cónica para tubos DIN 2999.
Tamaños nominales de rosca de 1/16 hasta 6. Designación p. ej. R 1.

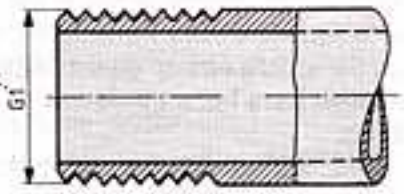


Figura 3-210. Rosca para tubos con conexiones no estanqueizadas por la rosca (cilíndrica) DIN ISO 228.
Designación abreviada p. ej. G 1.

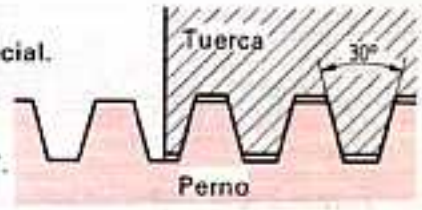


Figura 3-212. Rosca trapecial.
Campo de diámetros nominales de 8 a 300 mm. Designación p. ej. Tr 40 × 7.

de 1/16. En la construcción de cañerías se emplea casi exclusivamente el roscado según DIN 2999, pues con él se consigue la estanqueidad entre metales. Los tubos se designan de acuerdo con su diámetro nominal (DN), tamaño característico que se tiene en cuenta para la conexión de piezas en los sistemas de tuberías. No tienen ninguna unidad en especial, representan aproximadamente el diámetro interior de las piezas de la tubería en mm. Estos diámetros nominales representan la rosca Whitworth para tubos, que en caso de ser cónica tiene la designación «R» y «G» en caso de ser cilíndrica. Por otra parte, la medida en pulgadas correspondiente al diámetro nominal DN se indica sin símbolo de pulgada, p. ej., R1/2, R1, G 1/2, y G 1.

Rosca trapecial DIN 103. Debido a la forma trapecial el pie de la rosca es más ancho, y ésta admite altas cargas axiales en ambos sentidos. Puede rectificarse en los cantos. Aplicación: husillos de tornillos de mesa, husillos de movimiento de mesas, y carros de máquinas herramientas.

Rosca en diente de sierra DIN 513. El flanco de carga es casi perpendicular al eje de la rosca. Por ese motivo la rosca admite grandes cargas en un sentido. Aplicación: prensas de husillo, husillos de aparatos elevadores y máquinas de ensayo de rotura.

Rosca redonda DIN 405. La forma de rosca redonda hace que ésta sea prácticamente inmune a la suciedad y a las averías. Aplicación: Husillos de acoplamiento y frenos de vagones, husillos para grandes válvulas y correderas.

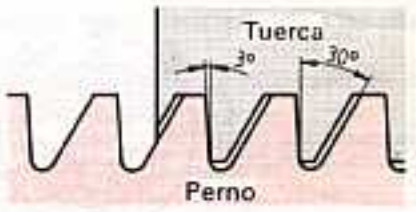


Figura 3-213. Rosca en diente de sierra.
Campo de diámetros nominales de 22 a 300 mm. Designación p. ej. S 48 × 8.

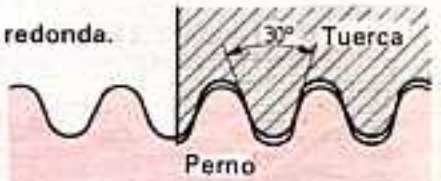


Figura 3-214. Rosca redonda.
Campo de diámetros nominales de 8 a 200 mm. Designación p. ej. Rd 40 × $^1/_6$.

TALLADO DE ROSCAS INTERIORES

Se utiliza un juego de machos de roscar (machos para roscado en desbaste, intermedio y en acabado con perfiles de rosca y longitudes de corte diferentes) para el roscado de taladros ciegos y pasantes (profundidad 1,5 veces el diámetro de la rosca).

La cantidad de material a arrancar se distribuye entre tres machos de roscar, mediante lo cual se consigue un roscado limpio y no se exige demasiado a cada herramienta. Para ahorrar costos de tiempo y herramientas, para el roscado de taladros pasantes (profundidad por debajo de 1,5 veces el diámetro de rosca) se utilizan **machos para roscado manual de tuercas** (de entrada larga) y **machos para roscado manual con un solo corte.** Dándole filos oblicuos en la zona de entrada de los machos de un solo corte, se facilita la salida de la viruta y se reduce el largo de la entrada de la herramienta.

El diámetro del taladro del núcleo debe ser siempre mayor que el del núcleo de la rosca. Vale como fórmula empírica: diámetro del taladro del núcleo de la rosca = diámetro exterior de la rosca menos

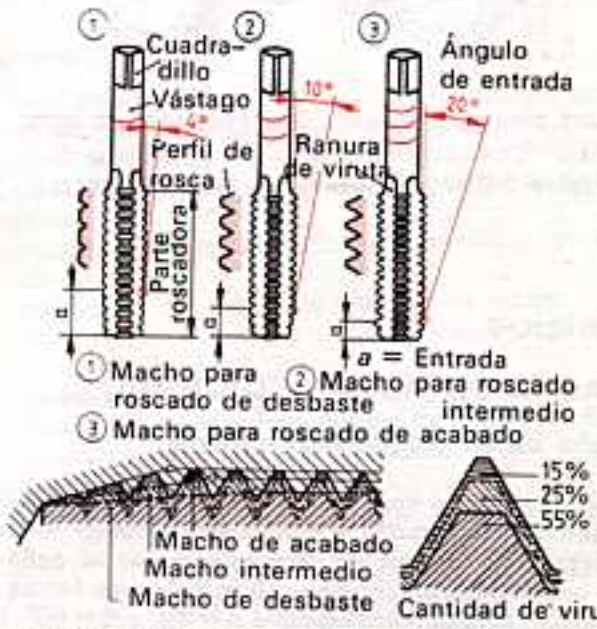


Figura 3-215. Juego de machos de roscar.

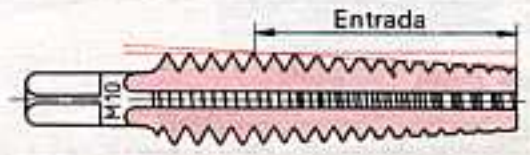


Figura 3-216. Macho para roscado manual de tuercas.

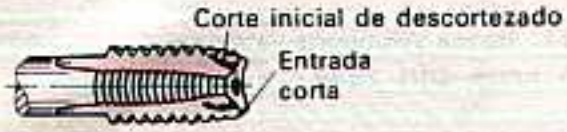


Figura 3-217. Macho para roscado manual de un solo corte.



Figura 3-218. Acumulación de material.

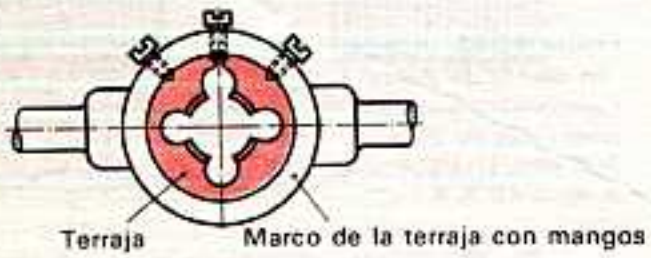


Figura 3-219. Terraja.

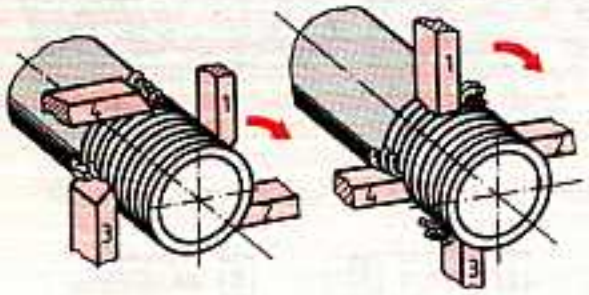


Figura 3-220. Mordazas de roscar (peines).

el paso. Los diámetros de brocas para taladrar agujeros de nucleo están normalizados en DIN 336.

Razonamiento: Al ir roscando un agujero, las pequeñas partículas de material arrancado presionan contra los hilos de rosca. Como además el macho debe expulsar el material que se va cortando, si el agujero es demasiado pequeño se corre el riesgo de que se atasque la herramienta y se parta.

Para que el macho de roscar entre bien, los taladros del núcleo se avellanan por ambos lados a 90°. Materiales de lubricación facilitan el corte limpio de los flancos de la rosca y evitan la rotura de hilos de rosca. Se utiliza aceite de corte para el acero y la aleaciones de cobre; y petróleo para las aleaciones de aluminio. La fundición gris se rosca en seco.

TALLADO DE ROSCAS EXTERIORES

Las roscas de pernos se tallan con terrajas.

El diámetro del perno debe se aprox. 1/5 del paso de rosca menor que el diámetro de la rosca. Debido a la fricción de agarre durante el roscado, se produce una presión que empuja los fragmentos de material contra la arista de la rosca. Debido a ello, el material se acumula y presenta un diámetro de rosca agrandado.

Ejemplo:
Rosca métrica ISO M 12. Diámetro de la rosca $d = 12$ mm. Paso = $P =$ 1,75 mm.
Diámetro del perno:
$d_1 = d - P/5 = 12 - 0{,}35\ \text{mm} = 11{,}65\ \text{mm}$

Reglas de trabajo: fijar firmemente la terraja en su marco y mango; el extremo del perno debe estar biselado a aprox. 45°. Colocar la terraja en ángulo recto respecto al eje del perno y roscar con una fuerza leve.

Existen terrajas con mordazas de corte radiales o tangenciales (roscado con peine), que pueden ser reafiladas en el taller. Las terrajas simples tienen cabezas de intercambio rápido con mordazas de corte fijas. Con ellas pueden roscarse incluso tubos cortos. Las terrajas de roscado tienen un ajuste grueso o fino, de manera que en varias pasadas pueda realizarse el roscado exacto. Las mordazas de corte intercambiables deben ser elegidas según el número de hilos por pulgada, es decir el paso de rosca.

Ejercicios

SEPARACIÓN POR SECCIONADO

La cuña como filo de herramienta

1. Distinguir entre seccionado y corte por arranque de viruta.
2. Nombrar los ángulos y planos de la cuña.
3. Describir la acción de seccionado por la cuña de corte.
4. En una cuña actúa, en sentido vertical, una fuerza F = 20 N. Calcular, para ángulos de cuña B = 30° y B = 60°, las fuerzas laterales.
5. Indicar la relación entre ángulo de cuña, gasto de energía y tipo de material.

Corte con cuña

6. Describir un proceso de cizallado.
7. Distinguir entre la resistencia a la cortadura y a la tracción de un material.
8. ¿Por qué el juego de filos de las cuchillas de cizalla no debe ser demasiado grande?
9. ¿Cuándo trabajan las cizallas en corte por tracción?
10. Explicar el ángulo de despullo y la tensión inicial entre las cuchillas de corte.
11. ¿Por qué se necesita menor fuerza cuando la pieza se encuentra más introducida, en la tijera de mano?
12. Con un ángulo entre filos elevado, la pieza resbala fuera de la boca de la tijera. Razonar por qué.
13. Mencionar las nociones principales de prevención contra accidentes en el trabajo de cizallado.
14. Razonar por qué los materiales muy frágiles no pueden ser separados mediante cizallado.
15. Explicar la función del pisador en la cizalla de palanca.
16. Fundamentar por qué el brazo de palanca de una cizalla no debe ser prolongado mediante un tubo.

Corte con cizalla

17. Distinguir entre cizallado y perforación.
18. Describir la construcción de una herramienta de corte.
19. ¿Cómo trabaja una herramienta de corte progresivo?
20. ¿Qué función cumplen el perno centrador y el perno limitador de las herramientas de corte progresivo?
21. ¿Cómo es la construcción de la herramienta con columnas de guía?
22. Describir el proceso de trabajo de una herramienta de corte completo.

Separación por arranque de viruta a mano

Forma de actuación de la cuña de corte

23. Ordenar en forma relativa: ángulo de ataque, ángulo de despullo y ángulo de cuña.
24. Resaltar las relaciones entre ángulo de ataque, viruta arrancada, viruta plástica, tipo de material, y calidad de la cuña de corte.
25. Comparar la acción de arranque de viruta con ángulo de ataque positivo y con ángulo de ataque negativo.

Cincelado

26. Ordenar los siguientes trabajos con sus cinceles correspondientes: desbarbado, recorte de partes de chapa, cincelado de ranuras, separación de chapas.
27. Describir el cincel como herramienta de arranque de viruta.
28. Explicar la relación existente entre profundidad de corte y ángulo de ataque.
29. ¿Cómo se cincelan correctamente los bordes de una pieza?
30. Comparar los ángulos de cuña adecuados para el trabajo en: a) acero moldeado, b) cobre.
31. ¿Qué objeto cumple el repasar con piedra el filo del cincel?
32. Accidentes durante el cincelado: a) debido a una herramienta defectuosa, b) debido a un trabajo mal ejecutado.

Aserrado

33. Comparar las acciones de separación del cincel con los de la sierra.
34. Informar sobre la elección de la sierra correcta para el trabajo de materiales blandos, duros y muy duros.
35. Fundamentar el corte con sierra sin agarrotamiento.
36. ¿Qué fuerzas actúan durante el movimiento de trabajo de la sierra y cuales durante su retroceso?
37. ¿Cómo se explica la mayor eficiencia de las sierras mecánicas comparadas con las sierras manuales?
38. ¿En qué manejo inapropiado pueden romperse los dientes de una sierra?
39. Mencionar los peligros de accidente en las sierras mecánicas.

Limado

40. Distinguir entre la acción de separación de una lima tallada de una lima fresada.
41. Explicar la diferencia entre densidad de picado, valor de picado y paso de dentado.
42. Diferenciar entre las indicaciones $\overset{3,2}{\nabla}$ y $\overset{0,8}{\nabla}$ y ordenarlas de acuerdo al tipo de trabajo de limado a que correspondan.
43. ¿Para qué trabajos son apropiadas las limas: a) de picado arqueado, b) picado simple oblicuo, c) picado con ranuras de rotura de viruta?
44. Mencionar seis tipos de lima de acuerdo con la forma de su corte transversal.
45. ¿Por qué tienen el picado superior y el picado inferior ángulos distintos respecto del eje de la lima en el picado cruzado?
46. En el acabado aún se observan rayas. ¿Cómo puede evitarlo?
47. Mencionar ejemplos de aplicación del tornillo de mano, (entenalla) de la mordaza de sujeción lateral y de los ángulos de sujeción durante el limado de piezas.

Rasqueteado

48. Comparar la cuña de corte de una rasqueta con la de una lima.
49. ¿Qué modificaciones en la superficie de la pieza se consiguen mediante el rasqueteado?
50. ¿Cómo se hacen visibles los puntos salientes de una superficie?
51. Fundamentar por qué la dirección de rasqueteado debe ser modificada constantemente.
52. Describir el proceso de trabajo necesario para conseguir una superficie rasqueteada completamente plana.
53. ¿Cómo se reconoce la calidad de una superficie rasqueteada?
54. Después del reafilado de una rasqueta se produce un ángulo de cuña de menos de 90°. ¿Qué consecuencias puede acarrear esto?
55. ¿Qué mantenimiento requiere el mármol?

Escariado

56. Explicar la finalidad del escariado.
57. Describir el proceso de arranque de viruta en el escariado.
58. Distinguir entre los distintos tipos de escariadores.
59. Fundamentar la distribución angular desigual del dentado de los escariadores.

Roscado

60. Fundamentar los distintos diámetros del perno y de la rosca en el tallado de una rosca exterior.
61. ¿Cuál es la influencia de un diámetro de núcleo de taladro demasiado pequeño o demasiado grande en la calidad de la rosca?
62. Establecer el plan de trabajo para el tallado de una rosca interior M 10.
63. Aplicación del juego de machos de roscar.
64. Comparar un macho de roscar para acero con uno para aluminio.
65. Se mecanizan los siguientes materiales: acero, fundición gris, aleaciones de aluminio. Indicar qué tipo de lubricación se requiere en cada uno de los casos.

3.6 Corte por arranque de viruta con máquina

3.6.1 Procesos de arranque de viruta

SUBDIVISIÓN DE LAS MÁQUINAS

Las máquinas facilitan el trabajo al hombre y mejoran la rentabilidad de la producción.

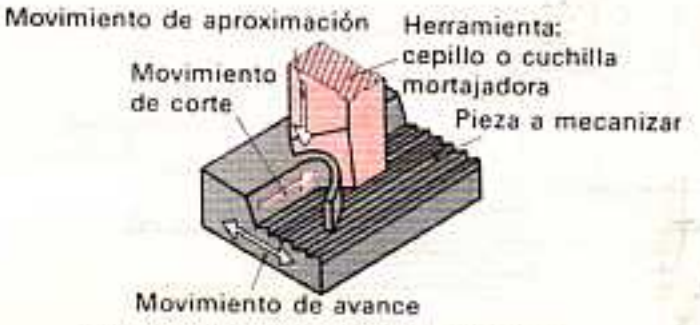


Figura 3-221. Cepillado y mortajado.

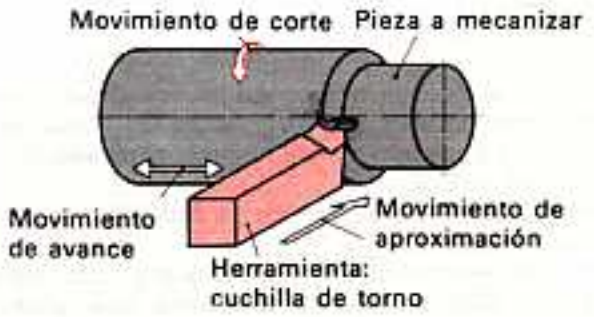


Figura 3-222. Torneado.

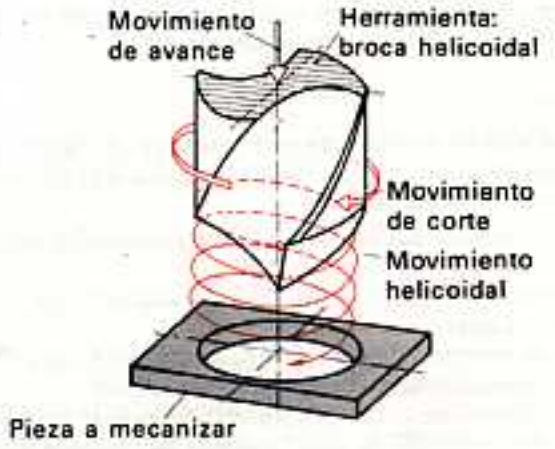


Figura 3-223. Taladrado.

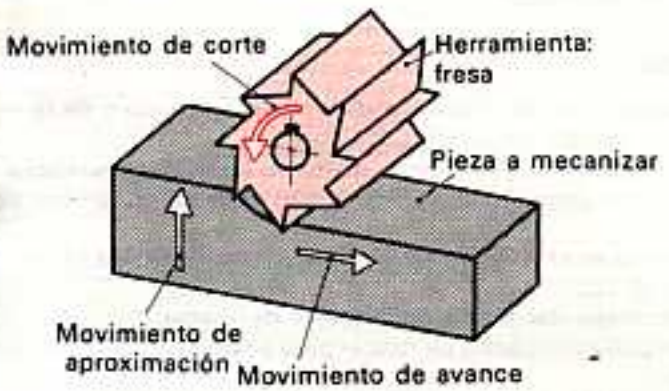


Figura 3-224. Fresado.

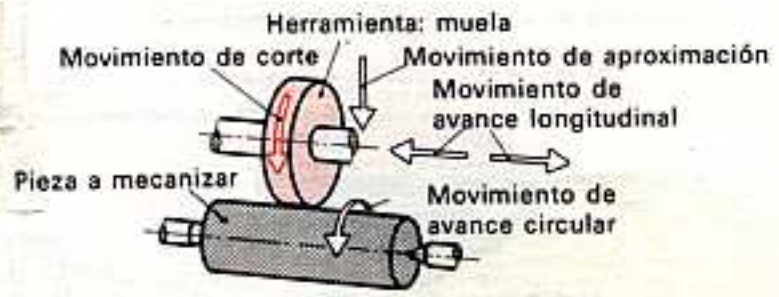


Figura 3-225. Rectificado.

Las máquinas motrices realizan la transformación de la energía de una a otra forma, como por ejemplo, de la energía eléctrica o térmica a mecánica. Se distingue entre máquinas térmicas, máquinas hidráulicas y máquinas eléctricas.

Las máquinas productoras están accionadas por máquinas motrices y se utilizan para la fabricación. Otras máquinas realizan el transporte de las materias primas y elementos de producción. Se dividen en:

1. **Maquinaria general**
   Grúas, excavadoras, bombas, maquinaria textil, maquinaria agrícola, maquinaria para envasado.
2. **Maquinaria de moldeo**
   Moldeadoras, máquinas de fundición.
3. **Máquinas-herramienta de deformación**
   Martillos de forja, prensas, laminadores.
4. **Máquinas-herramienta arranque de viruta y separación**
   Limas, cizallas, tornos, taladros, cepillos, mortajadoras, fresadoras, rectificadoras, sierras, brochadoras, máquinas de electroerosión.
5. **Máquinas para ensamblar**
   Soldadoras, roblonadoras.
6. **Máquinas para variar las características del material**
   Máquinas de temple.

PROCESOS DE ARRANQUE DE VIRUTA EN MÁQUINAS-HERRAMIENTA

La formación de las virutas viene determinada por el tipo de herramienta y por los movimientos de trabajo.

Los procedimientos usuales de mecanización son cepillado, mortajado, torneado, taladrado, fresado y rectificado. Las máquinas-herramienta utilizadas dan forma a las piezas con la ayuda de herramientas o útiles.

Mediante diferentes movimientos de trabajo la pieza a mecanizar y la herramienta se llevan la una a la otra de manera que se posibilite la formación de la viruta. Según la norma DIN 6580 se distinguen los movimientos de corte, avance, posicionamiento y aproximación.

Por medio del **movimiento de corte** se consigue el arranque de la viruta ya sea por giro o traslación de la pieza a mecanizar o de la herramienta. En el cepillado y mortajado se mueve de forma rectilínea la herramienta o la pieza a mecanizar. El arranque de viruta se consigue mediante un movimiento rectilíneo de corte. En el torneado, taladrado, fresado y rectificado, el movimiento de corte es circular.

Por medio del **movimiento de avance** se arranca la viruta a lo largo de múltiples giros o traslaciones; en el torneado, taladrado y fresado se consigue con movimiento de corte circular y continuo, y en el cepillado y mortajado con movimiento de corte rectilíneo y de vaivén.

Por medio del **movimiento de posicionamiento** se colocan, antes de empezar el mecanizado, la herramienta y la pieza a mecanizar en posición de trabajo, es decir, se aproximan hasta tocarse.

El **movimiento de aproximación** determina la profundidad de corte de la herramienta y se consigue por aproximación mutua de la herramienta y la pieza a mecanizar.

Movimiento efectivo. En el torneado, taladrado, fresado y rectificado actúan simultáneamente los movimientos de corte y avance,

La viruta se forma por el arranque con fuerza de partículas del material y su deformación. La formación de la viruta está influenciada por la resistencia y la deformabilidad del material de la pieza a mecanizar, por la magnitud de los ángulos de ataque y de despullo, por la velocidad con que se produce el arranque de la viruta (velocidad de corte), por las características de la superficie a mecanizar, etc. En la superficie de contacto entre la viruta y la pieza a mecanizar se producen altas temperaturas, de hasta 700°C, por la deformación del material. Aproximadamente 1/5 de esta cantidad de calor es absorbida por la herramienta, que sufre un desgaste prematuro. Por medio de una refrigeración y lubricación con emulsiones de agua y aceite se disminuye la formación de calor y se descarga el existente.

Recrecido del filo de corte

En la mecanización de materiales blandos y tenaces se puede formar un recrecido indeseado, el llamado «filo recrecido», que produce una superficie rugosa y agrietada. En fracciones de segundo se fijan sobre el filo de la herramienta partículas de material y forman un recrecido que aumenta la rapidez de la rotura y que, al romperse, deja una mella en la superficie de la pieza. Se evita este recrecido por medio de mayor velocidad de corte, pulido de la superficie de ataque (hombro de la cuchilla) y mayor espesor de la viruta.

3.6.2. Torneado

ESTRUCTURA DE LOS TORNOS

Finalidad del elemento constructivo	Tipo de construcción y accionamiento
Bastidor y bancada	
Soporte de todas las partes fijas y móviles: cabezal, carro, contrapunto, órganos de tracción, etc. Absorción de todas las fuerzas del mecanizado.	Construcción rígida tipo cajón, laterales de la bancada con nervaduras para evitar deformaciones y vibraciones. Fundición gris especial o construcción soldada.
Cabezal	
Soporte del husillo de trabajo y del cambio de velocidades principal.	Caja de engranajes, rígida, exenta de vibraciones, de fundición gris.
Engranaje de velocidades principal	
Transmisión del movimiento de accionamiento hasta el husillo de trabajo. Movimiento de corte del husillo de trabajo con 8, 9, 12, 16, 18 ó 24 velocidades de giro. Aproximadamente de 20 a 2 000 r.p.m., giro a derechas o izquierdas del husillo de trabajo.	Accionamiento por motor y correas trapeciales o por motor embridado. En egenral de engranaje de ruedas corredizas, menos frecuentemente de regulación continua. Doble embrague de disco múltiples con freno.
Husillo de trabajo	
Transmisión del movimiento de corte a la pieza a mecanizar. Absorción total de las fuerzas de mecanizado (fuerzas radial y axial).	Eje hueco de acero aleado o de fundición gris; soportado por cojinetes ajustables de fricción o rodamientos. El talón del husillo soporta el plato de garras o el elemento de sujeción. Alojamiento cónico para el punto.
Eje de transmisión	
Conexión y desconexión, giro a derechas o izquierdas del husillo de trabajo.	Accionamiento del doble embrague de discos múltiples por medio de palancas.
Engranaje de velocidades del avance	
Transmisión del movimiento de corte a los órganos de tracción (husillo de roscar y barra de cilindrar) para conseguir 60 a 80 avances longitudinales, transversales y de roscado.	Accionamiento del husillo de trabajo a través de engranajes helicoidales y dentados. Engranajes Norton, cónicos o de ruedas corredizas.

Órganos de tracción	
Transmisión del movimiento de giro desde el cambio de velocidades del avance hasta la placa de maniobra del carro. Barra de cilindrar para avances longitudinal y transversal. Husillo de roscar para el avance de roscar.	Barra de cilindrar: eje con ranura longitudinal para la rueda desplazable Z_1. Husillo de roscar: husillo roscado con rosca trapecial (métrica o inglesa); paso de rosca muy preciso.
Carros de la herramienta (carro)	
Soporte y movimiento de la herramienta.	Constituido por los tres carros y su placa de maniobra.
Placa de maniobra	
Soporte de los engranajes. Transformación del movimiento de giro de los órganos de tracción en movimiento longitudinal del carro portaherramientas y movimiento transversal del carro transversal.	Transmisión de fuerzas de la barra de cilindrar mediante engranaje cilíndrico y helicoidal. Interrupción del accionamiento de los avances longitudinal y transversal cuando el tornillo sin fin basculante gira hacia abajo durante el cilindradó. Transmisión de fuerzas por el husillo de roscar y la tuerca del husillo durante el roscado.
1. Carro de bancada	
Soporte de los elementos constructivos del carro. Movimiento longitudinal manual o mecanizado.	En forma de H. Movimiento longitudinal por cremallera, accionado a mano con volante o automático por la barra de cilindrar. También por el husillo de roscar y la tuerca del husillo.
2. Carro transversal	
Movimiento transversal o plano de la herramienta, manual o mecanizado.	Accionable por manivela o la barra de cilindrar por el husillo de roscar a la izquierda. Longitud del desplazamiento legible en la escala del tambor.
3. Carro superior	
Soporte de la herramienta. Movimientos longitudinal y oblicuo a mano.	Movimiento po manivela. Longitud del desplazamiento legible en la escala del tambor. Fijación de la oblicuidad por medio de plato graduado giratorio incorporado.
Portaherramientas	
Soporte de la herramienta por fijación.	Portaherramientas para soportar una o varias herramientas.
Guías de bancada	
Soporte y guía del carro y del contrapunto.	De fundición gris especial por ser parte del bastidor. Superficies de deslizamiento: fundición dura o templada a la llama, cepillada, rectificada y rasqueteada. Formas: guías lisas, prismáticas o de cubierta.
Contrapunto	
Contrasoporte de la pieza a mecanizar. Soporte de herramientas tales como brocas, escariadores, herramientas de roscado.	Desplazable longitudinalmente sobre su propia guía lisa. Desplazable transversalmente unos 15 mm. Barrenado cónico en la pínola.

El torno de roscar y cilindrar es una máquina-herramienta de utilización múltiple para el método de fabricación «pieza a pieza» (máquina de múltiples usos). Con él se puede realizar todo tipo de trabajos de torneado mediante el empleo de accesorios adicionales. Los numerosos tipos de torno especiales son apropiados para la fabricación en serie, para el mecanizado de piezas muy grandes o muy pequeñas o para procesos especiales de trabajo, como por ejemplo el destalonado de herramientas de fresar (máquinas de uso único).

El accionamiento del movimiento longitudinal o transversal del carro por medio de la barra de cilindrar se interrumpe cuando se gira hacia A la palanca del tornillo sin fin basculante. El tornillo sin fin

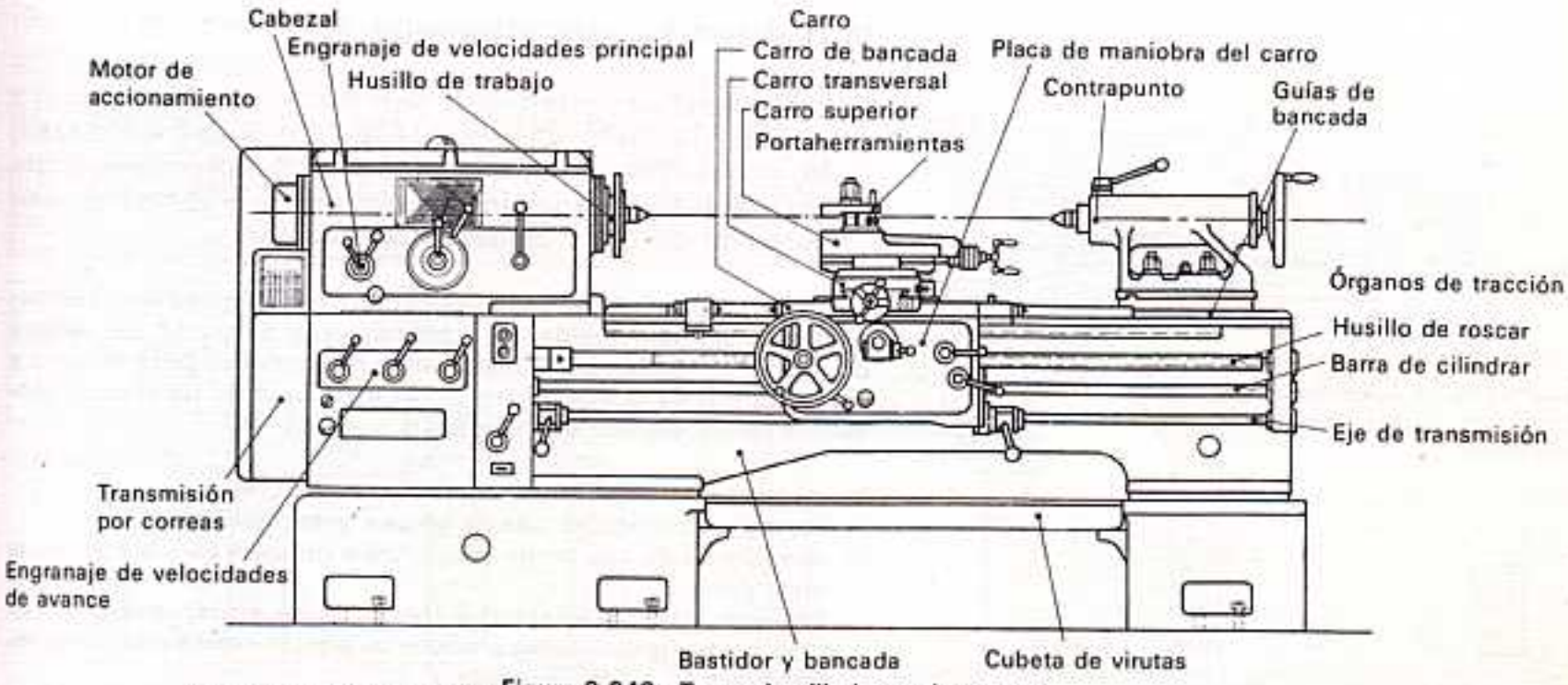


Figura 3-242. Torno de cilindrar y de roscar.

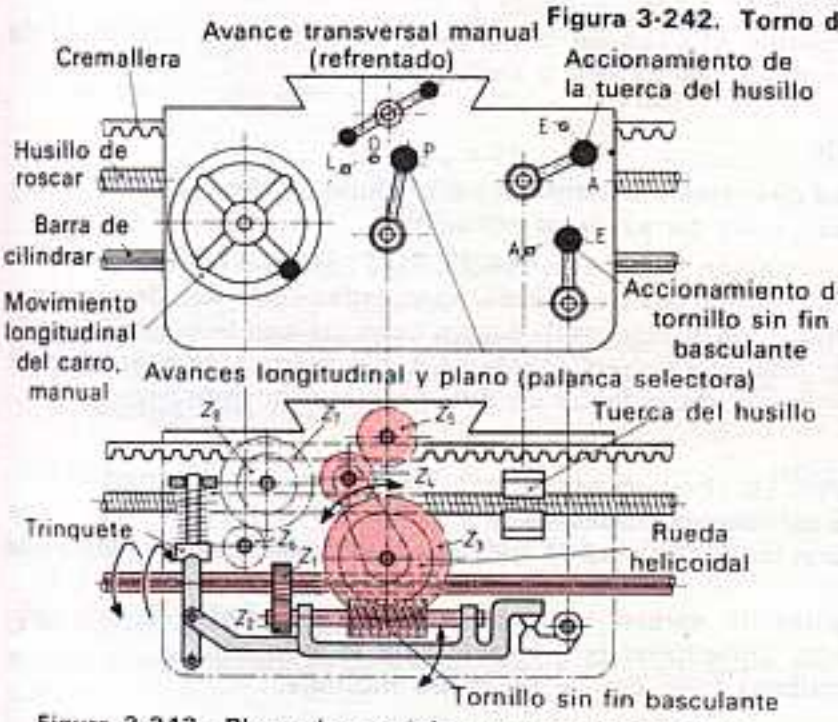


Figura 3-243. Placa de maniobra y mecanismos de la misma.
Movimiento transversal por medio de la barra de cilindrar: z_1–z_2-tornillo sin fin–rueda helicoidal–z_3–z_4–z_5–husillo del avance.
Avance longitudinal por medio de la barra de cilindrar: z_1 a z_4 como en el caso anterior y después z_7–z_8–cremallera.
Movimiento longitudinal por medio del husillo de roscar. La tuerca del husillo acoplada une el husillo de roscar con el carro de la herramienta.
Movimiento longitudinal manual: rueda de maniobra–z_6–z_7–z_8–cremallera.

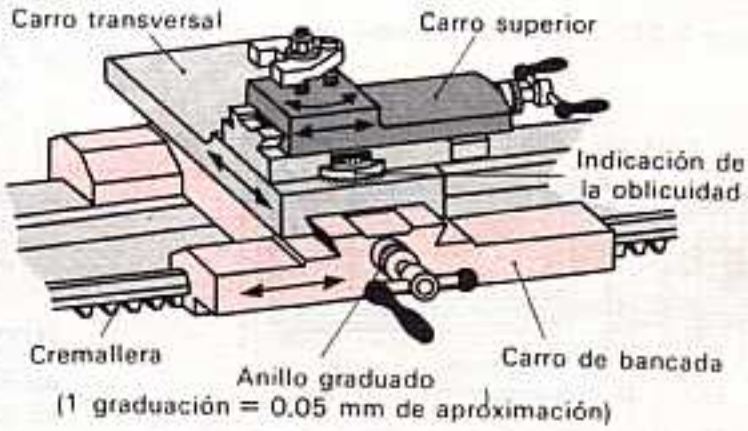


Figura 3-244. Carro de la herramienta.

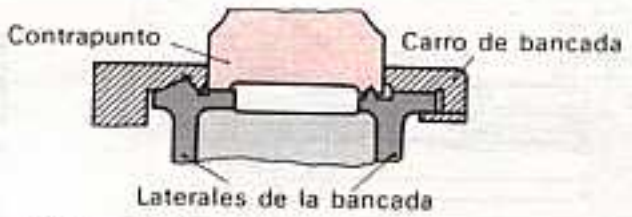


Figura 3-245. Guías de la bancada.
Guías aparte para el carro de la bancada y para el contrapunto.

desciende y deja de engranar con la rueda helicoidal. El accionamiento se interrumpe también cuando el carro alcanza un final de carrera, por lo que se para. El tornillo sin fin gira aún un poco sobre la rueda helicoidal que está inmóvil, se desplaza así en dirección axial, separándose del trinquete y cae un poco hacia abajo. De ahí le viene el nombre de tornillo sin fin basculante.

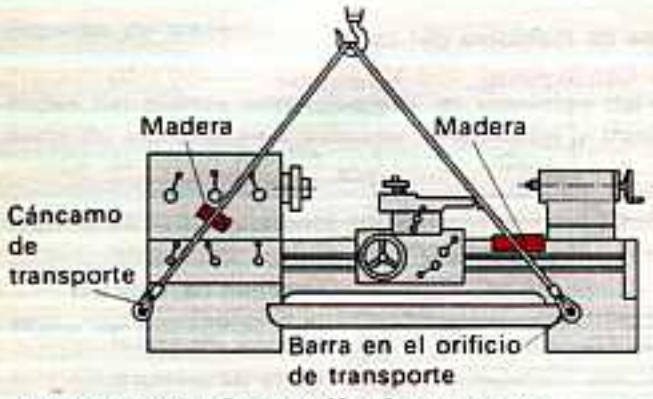


Figura 3-246. Suspensión de un torno. Los tacos de madera protegen las palancas contra desperfectos.

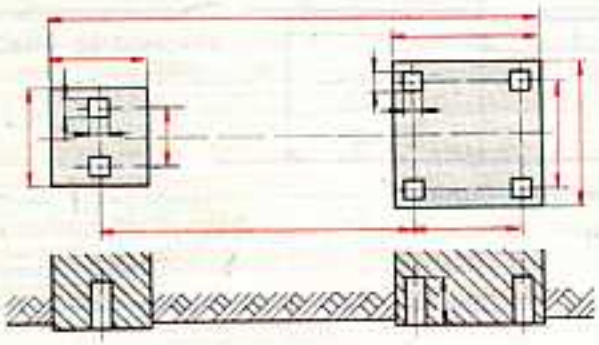


Figura 3-247. Plano de la fundación.

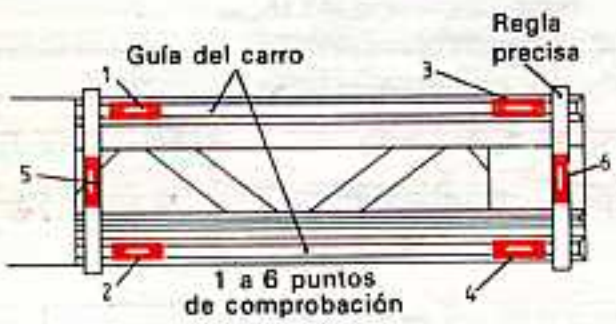


Figura 3-248. Nivelación de una máquina-herramienta con niveles.

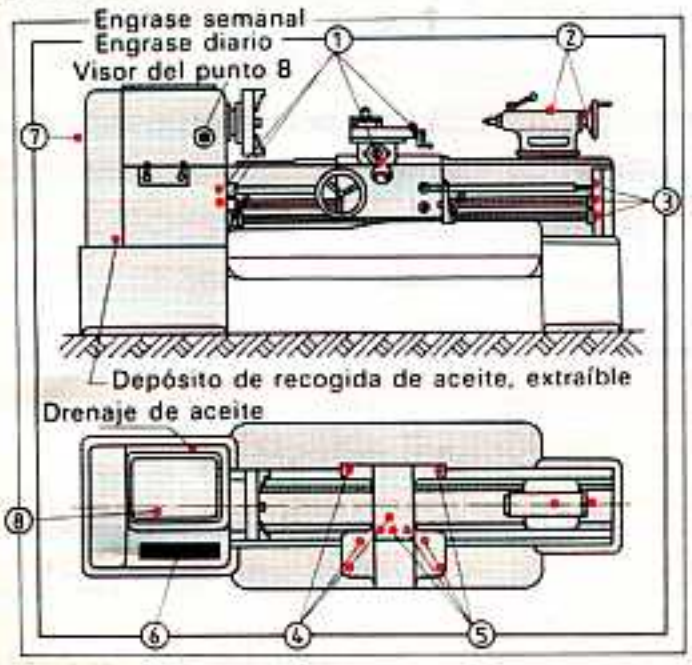


Figura 3-249. Plano de engrase de un torno.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las máquinas-herramienta son máquinas de precisión y de elevado costo, de las que esperamos un trabajo exacto, alto rendimiento y larga duración. Su precisión de trabajo depende esencialmente del montaje apropiado y su duración de unos cuidados escrupulosos.

La empresa fabricante suministra con cada máquina unas instrucciones de servicio que deben guardarse en el despacho del maestro de taller y estar siempre a disposición del operario de la máquina y del mecánico de mantenimiento. Las instrucciones de servicio contienen las siguientes instrucciones:

Transporte

a) Proteger la máquina contra golpes y sacudidas.
b) Asegurarse de que tenga cáncamos u orificios para la fijación de los cables.
c) Proteger las partes salientes (palancas de accionamiento, husillos) contra desperfectos producidos por los cables o cadenas, interponiendo tacos de madera.
d) Comprobar el peso de la máquina respecto a la capacidad de carga de grúas, cables o cadenas.

Montaje

a) Antes de instalar la máquina ver el plano de cimentación, la fundación y las patas de la máquina.
b) La circulación debe estar seca.
c) Utilizar elementos de fijación apropiados (tornillos de empotramiento o aprisionadores). Según sean las condiciones del edificio la máquina deberá montarse sobre marcos de acero, placas amortiguadoras o tacos de caucho-metal antivibratorios.

Nivelación

a) Emplear niveles correctos.
b) Limpiar las superficies de apoyo de los niveles con disolventes de grasa.
c) Después de apretar los tornillos y de la prueba de funcionamiento, comprobar la nivelación de la máquina.
d) Comprobar todo con el plano de montaje.

Puesta en marcha

a) Las conexiones eléctricas deben hacerlas los electricistas.
b) Limpiar la máquina a fondo.
c) Comprobar si las cajas de engranajes están llenas de aceite y engrasar la máquina.
d) Asegurarse de conocer el manejo de la máquina.
e) Poner la máquina en marcha sin carga, primero a baja velocidad aumentándola después poco a poco.

Mantenimiento

a) Retirar las virutas diariamente o a cada cambio de material. Limpiar la máquina a fondo una vez por semana y comprobarla bien.
b) Engrasar puntualmente la máquina de acuerdo con las instrucciones de engrase y vigilar constantemente el nivel de aceite.
c) Utilizar únicamente los aceites y grasas indicados en las instrucciones.
d) Reajustar los rodamientos y guías en su momento.

Se debe ser consciente del peligro de accidentes que entraña la máquina.

Sección del mango ▨ *q* cuadrada	▯ *h* rectangular	○ *r* circular
ISO 1 ▨ q 10 12 16 20 25 32	▯ h 20 25 32 40 50	
ISO 2 ▨ q 10 12 16 20 25 32		
ISO 3	▯ h 16 20 25 32 40 50	
ISO 4 ▨ q 10 12 16 20 25 32	▯ h 20 25 32 40	
ISO 5 ▨ q 10 12 16 20 25 32		
ISO 6 ▨ q 10 12 16 20 25 32	▯ h 20 25 32 40 50	
ISO 7	▯ h 12 16 20 25 32 40 50	
ISO 8 ▨ q 8 10 12 16 20 25 32		○ r 8 10 12 16 20 25
ISO 9 ▨ q 8 10 12 16 20 25 32		○ r 8 10 12 16 20 25

Secciones normalizadas en mm

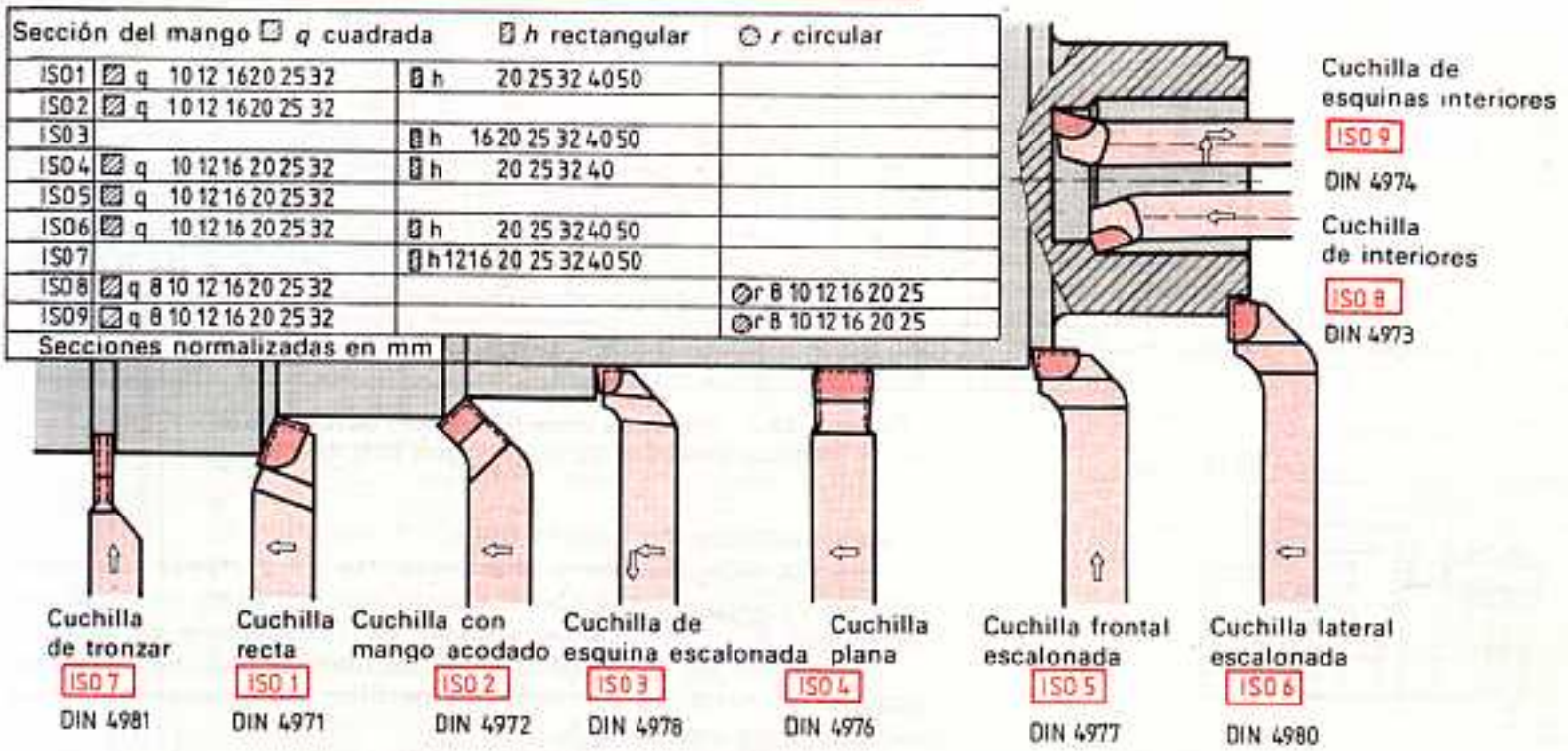


Figura 3-250. Herramientas de tornear en posición de trabajo, normalizadas según ISO, formas y dimensiones de los mangos.

HERRAMIENTAS DE TORNEAR

Las nueve herramientas de tornear más importantes han sido aceptadas internacionalmente de acuerdo a una recomendación ISO.

Las herramientas de tornear con placas de corte de metal duro están normalizadas en DIN 4971 a 4981 y las herramientas con placas de corte de acero rápido en DIN 4951 a 4965.

Las normas fijan:

la forma de la herramienta,
las formas y dimensiones de las secciones, así como la longitud de los mangos
la distancia acodada de la herramienta
las magnitudes de los ángulos de ataque y despullo y la disposición de las placas de corte.

Sobre cada mango se puede montar la placa de corte correspondiente al material de la pieza a mecanizar. Las formas ISO 1, 2, 3, 5, 6 y 7 (figura 3-250) se fabrican como cuchillas a izquierdas o a derechas.

Ejemplo de la designación de una cuchilla de torno:

Herramienta ISO 2 DIN 4972 L 25 q K 10

Tipo de herramienta
L = a izquierdas (R = a derechas)
Mango cuadrado, 25 mm de lado
Tipo de metal duro

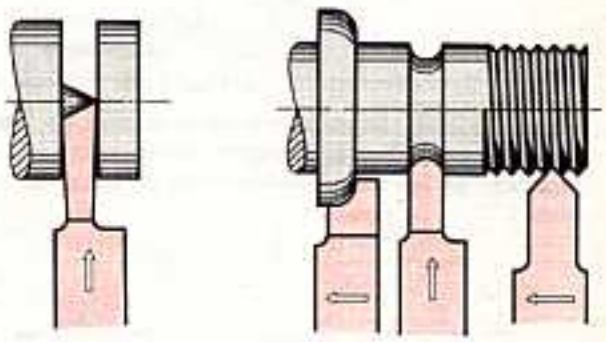


Figura 3-251. Cuchilla de tronzar (izda.).
Figura 3-252. Cuchillas de formas (de perfiles).



Figura 3-253. Discos de formas (de perfiles).

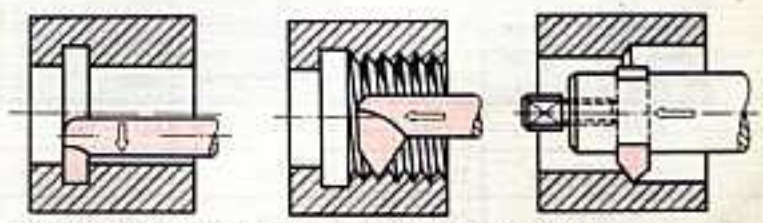


Figura 3-254. Cuchilla para interiores (izda.).
Figura 3-255. Cuchilla para roscado de interiores (centro).
Figura 3-256. Barra de taladrar (dra.).

Forma	85°	82°	80°	55°	75°		55°
	A	B	C	D	E	H	K
	L	85° M	O	P	R	S	T

Ángulo de despullo	3°	5°	7°	15°	20°	25°	30°	0°	11°
	A	B	C	D	E	F	G	N	P

Figura 3-257. Placas de corte reversibles de metal duro o de material cerámico de corte según DIN 4987.

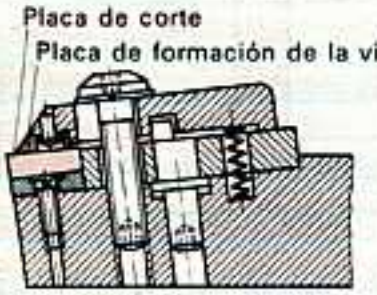
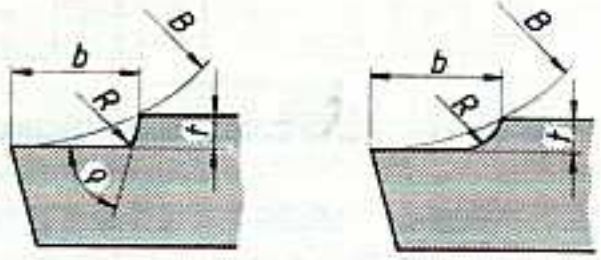




Figura 3-258. Dispositivo de sujeción de las placas de corte reversibles sin ángulo de despullo (dispositivo de sujeción de las placas reversibles de material cerámico de corte).



$\varphi = 50° \ldots 55°$
$R \approx 0{,}5$ mm
$R > t\ (\approx 2 \cdot t)$

$R > t\ (\approx 2 \cdot t)$

Radio de la curva de salida $B = \frac{b^2}{2t} + \frac{t}{2}$

Resistencia a la tracción material, N/mm²	Anchura b con avance s		Profundidad t
	<0,5 mm	>0,5 mm	mm
<750	12...8 · s	1 mm + 6 · s	0,6...0,8
750...1000	10...7 · s	1 mm + 5 · s	0,4...0,6
>1000	9...6 · s	1 mm + 4 · s	0,3...0,4

Figura 3-259. Formas y tamaños de los escalones de guía de virutas.

Las cuchillas de tronzar tienen el filo oblicuo.

Las cuchillas de forma (herramientas de perfiles) no deben cambiar de forma (perfil) con el afilado, por lo que no tienen ángulo de ataque. Sólo pueden ser afiladas en la superficie del hombro.

Los discos de forma (discos de perfiles) se utilizan en la producción en serie de torneado de perfiles. Se pueden afilar con frecuencia sin perder la forma.

Las placas de corte (DIN 771, 4950) son de acero de herramientas templado (acero rápido) o de metal duro. Están rectificadas por su superficie de apoyo, van soldadas a mangos normalizados de alta resistencia y tienen ángulo de despullo y destalonamiento.

Las placas de cortes reversibles son placas ya preparadas para su uso, de metal duro o de cerámica de corte. Se fijan al mango de la herramienta y cuando se embotan se giran o se les da vuelta de forma que un filo nuevo quede en posición de trabajo.

Las placas sin ángulo de despullo se sujetan oblicuamente formándose de esa manera un ángulo de despullo de unos 5°, así como un ángulo de ataque de la misma magnitud pero negativo (placas negativas). Se aprovechan por sus lados superior e inferior. Una placa cuadrada tiene por lo tanto 8 filos. Algunas placas tienen ya preformado un ángulo de despullo de la placa de 11°. Se sujetan oblicuamente de manera que formen un ángulo de despullo de 5° y un ángulo de ataque de +6° (placas positivas).

Las placas de material cerámico de corte son siempre negativas y en general de mayor espesor que las de metal duro.

Los destalonados (escalón de guía de la viruta) infuyen en la forma y salida de la viruta. Se esmerilan en el hombro de la herramienta o se forman por la manera especial de sujetar la placa. También pueden venir formados en las placas de cortes reversibles como gargantas ranuradas que forman al mismo tiempo el ángulo de ataque.

El ángulo abarcado φ (fi) influye en la dirección de salida de la viruta.

Ángulo de ataque = 10°, positivo

Normalizado en los destalonados para todos los trabajos de acabado y de desbaste ligero. Buena formación de viruta con avances de 0,08 a 0,25 mm.

Ángulo de ataque = 5°, positivo

Para trabajos de desbaste de materiales que producen viruta larga y de piezas de fundición de pared delgada. Buena formación de viruta con avances de 0,25 a 0,6 mm.

Ángulo de ataque = 5°, negativo

Particularmente apropiado para materiales que producen viruta corta, así como para el mecanizado con cortes interrumpidos de piezas de material que producen viruta larga.

Color distintivo	Resistencia al desgaste y tenacidad	Grupo principal de arranque de viruta	Grupo de aplicación de arranque viruta	Aplicación F: Acabado fino Sch: Acabado normal Sp: Desbaste	
azul	1. Tenacidad ascendente ← 2. Resistencia al desgaste ascendente →	P Para materiales que forman viruta larga.	P 01.1 P 01.2 P 01.3 P 01.4	F	Acero y fundición de acero
			P 10	F+Sch	Acero y fundición de acero
			P 15	Sch+Sp	Acero y fundición de acero
			P 20	Sch+Sp	Acero, fundición de acero, fundición maleable
			P 30	Sp	Acero, fundición de acero, fundición gris y maleable
			P 40 P 50	Sp	Acero, fundición de acero
amarillo	1. → 2.	M Para materiales que forman viruta larga o corta.	M 10	Sch Sch+Sp	Acero, fundición de acero, fundición maleable Acero templado, fundición gris
			M 15 M 20	Sch+Sp	Acero, fundición de acero, fundición gris y fundición maleable
			M 30	Sp	Acero alta resistencia al calor, Fundición de acero, fundición gris
			M 40		Acero dulce para tornos automáticos, metales no férreos
rojo	1. → 2.	K Para materiales que forman viruta corta.	K 01 K 05	F+Sch	Fundición dura, fundición gris, acero templado, metales no férreos, materiales no metálicos
			K 10 K 20	Sch+Sp	Fundición gris, fundición dura, metales no férreos, materiales no metálicos
			K 30	Sp	Fundición gris, metales no férreos y materiales no metálicos
			K 40	Sp	Metales no férreos y materiales no metálicos

Figura 3-261. Designación de metales duros mediante letras (P, M, K), números (01.1 hasta 50) y colores (azul, amarillo, rojo).

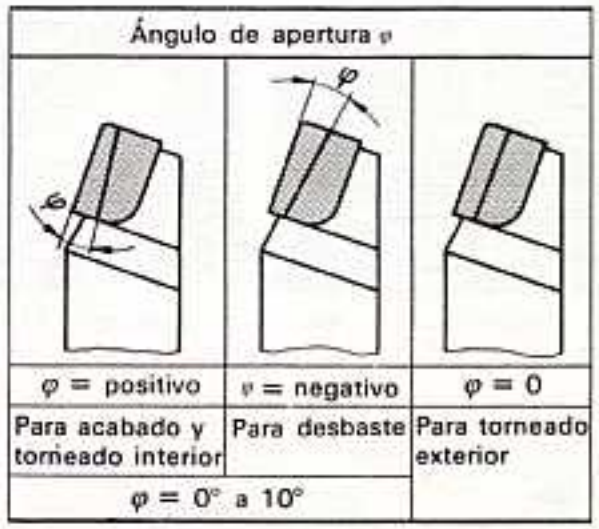


Figura 3-260. Ángulo entre cantos para los escalones de guía de virutas.

MATERIALES DE CORTE

Los filos de las herramientas se fabrican de diversos materiales.

Para su elección se determinan el **material de la pieza a mecanizar**, la **velocidad de corte** deseada y el **acabado de la superficie**, así como la **frecuencia de utilización** y el **precio**.

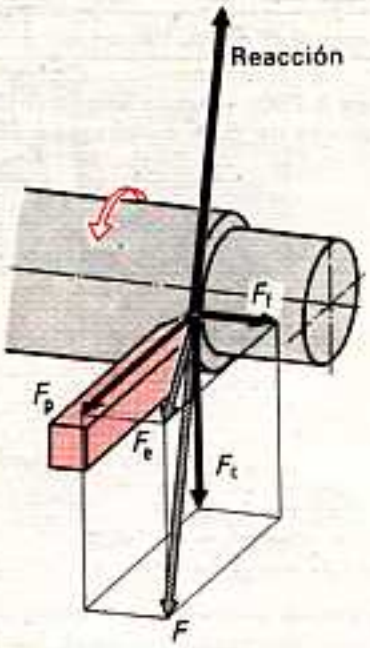


Figura 3-262. Fuerzas sobre la cuchilla de torno y sobre la pieza.
La herramienta debe sujetarse firmemente y lo más en corto posible.

Cuando se quiere conseguir un alto rendimiento de corte (cantidad de viruta por minuto) a velocidades de corte elevadas, la dureza del material del filo a altas temperaturas es decisiva. Se entiende por dureza a altas temperaturas la temperatura admitida por el material del filo. Si se sobrepasa esta temperatura, la herramienta pierde su dureza y con ello su capacidad de corte.

1. Acero de herramientas no aleado
(Acero al carbono)
Dureza hasta 250°C (523° K)
Para herramientas poco utilizadas, como cuchillas de forma, para el mecanizado de metales ligeros.

2. Acero de herramientas de baja aleación
Dureza hasta 400°C (673° K)
Permite mayor velocidad de corte que el acero al carbono.

3. Acero de herramientas de alta aleación
(Acero rápido; SS; HSS)
Dureza hasta 600°C (873° K)
Aleado con tungsteno, molibdeno, vanadio y cobalto; utilizado en brocas, fresas, escariadores y cuchillas de torno y de cepillo.

Se distingue entre aceros rápidos de rendimiento normal, medio y alto.

4. Metales duros
Dureza hasta 900°C (1 173° K)
Se utilizan para placas de corte y se sueldan a los mangos de acero de las herramientas o se fijan mecánicamente a ellos. Ver tabla adjunta.

5. Material cerámico de corte
Dureza hasta 1 300°C (1 573° K)
Las plaquitas de óxidos metálicos sinterizados se sujetan al portaherramientas. Son aún más resistentes al desgaste que los metales duros, pero muy frágiles. No son apropiadas para corte «discontinuo».

6. Diamantes industriales
Dureza hasta 900°C (1173° K)
Sólo pueden ser utilizados con avances muy bajos (0,02 a 0,06 mm) y profundidades de corte muy pequeñas, pero a velocidades de corte muy altas (superiores a 1 000 m/min). Se emplean para taladrado y torneado finos.



Figura 3-263. Sujetar la cuchilla en corto (izda.).
Figura 3-264. Sujetar la cuchilla firmemente.

SUJECIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE TORNEAR

Durante la formación de la viruta actúan sobre la cuchilla y sobre la pieza que se mecaniza fuerzas cuyas magnitudes y direcciones deben ser conocidas y que el dispositivo de sujeción debe soportar con seguridad.

Fuerzas en la cuchilla

La fuerza de corte F_c se origina por el arranque de viruta. Su magnitud depende del material de la pieza a mecanizar y de los ángulos de filo de la cuchilla. F_c actúa a flexión sobre la herramienta.

La fuerza de avance F_f actúa en el torneado cilíndrico paralelamente al eje de la pieza a mecanizar; perpendicularmente a su dirección aparece la fuerza pasiva F_p.

La fuerza de arranque de la viruta F es la resultante de las fuerzas F_c, F_f y F_p. La fuerza F produce una reacción igual y de sentido contra-

rio que debe ser soportada por el elemento de sujeción de la pieza que se mecaniza.

En la sujeción de la herramienta hay que observar por lo tanto la siguientes reglas fundamentales:

1. Sujetar en corto la cuchilla
Si sobresale demasiado de la superficie de sujeción, forma un brazo-de palanca largo, por lo que puede vibrar, flexarse, doblarse o romperse (superficie basta, variación de los ángulos (efectivos) de la herramienta).

2. Sujetar la cuchilla firmemente
Para que no salte del portaherramientas (peligro de accidente) y no sea arrastrada por la pieza giratoria (desperfecto) la cuchilla debe estar firmemente sujeta.

Portaherramientas

Además de las **garras de sujeción** y de los **portaherramientas múltiples** se utilizan para la fabricación económica los **portaherramientas de cambio rápido.** Con ellos se pueden sujetar rápidamente y colocar en posición de trabajo las herramientas necesarias (cuchillas, brocas, escariadores, peines de roscar) para un proceso de fabricación.

Fijación de la altura de la cuchilla

La posición en altura de la cuchilla respecto al centro de la pieza a mecanizar (eje de giro) influye en el ángulo de despullo α y en el de ataque γ y con ello en la formación de la viruta.

Estos dos ángulos varían en bastantes grados cuando la herramienta se sujeta por **encima** o por **debajo** del eje de giro u **oblicuamente** a él. En trabajos difíciles de desbaste es conveniente colocar la cuchilla hasta un 2% del diámetro de la pieza a desbartar por encima del eje de giro.

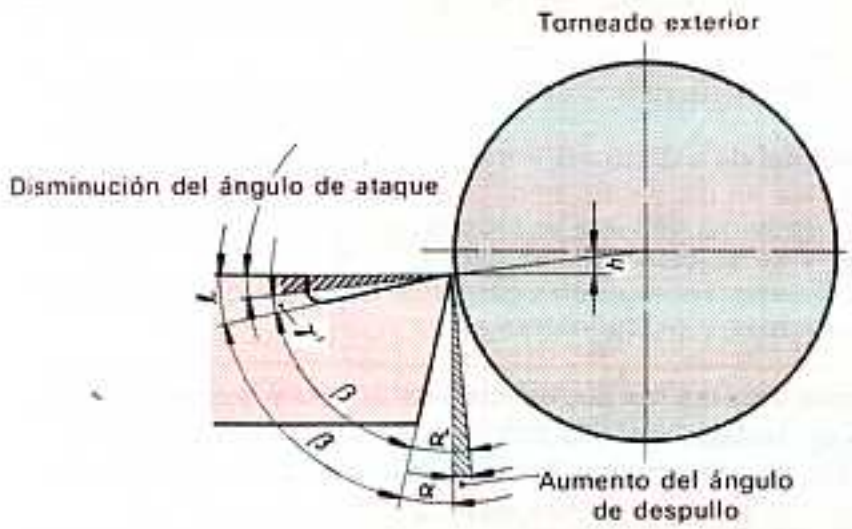
En todos los trabajos con cuchillas de forma y trabajos de roscado, torneado cónico y de cortar y tronzar, la cuchilla debe estar siempre exactamente en el centro.

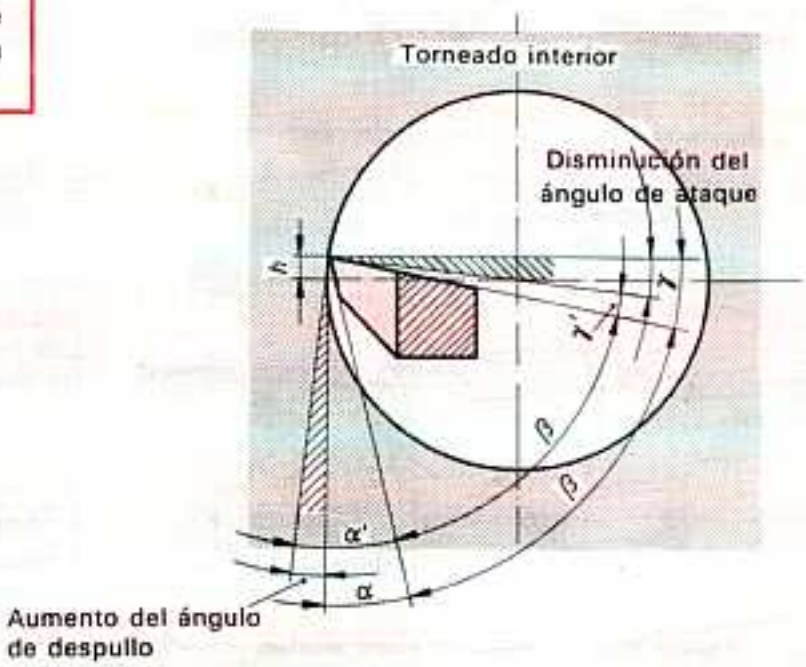


Figura 3-265. Taladrado con broca helicoidal (izda.).
Figura 3-266. Fijación de la altura de la punta alta de corte.



Figura 3-267. Portaherramientas de cambio rápido.





Los ángulos de ataque disminuyen.
Los ángulos de despullo aumentan.

Figura 3-268. Cuando la cuchilla de torno para exteriores está sujeta por debajo del centro (figura de la izquierda), o por encima en el caso de cuchilla para interiores (figura de la derecha) las variaciones de los ángulos en ambos casos son iguales.

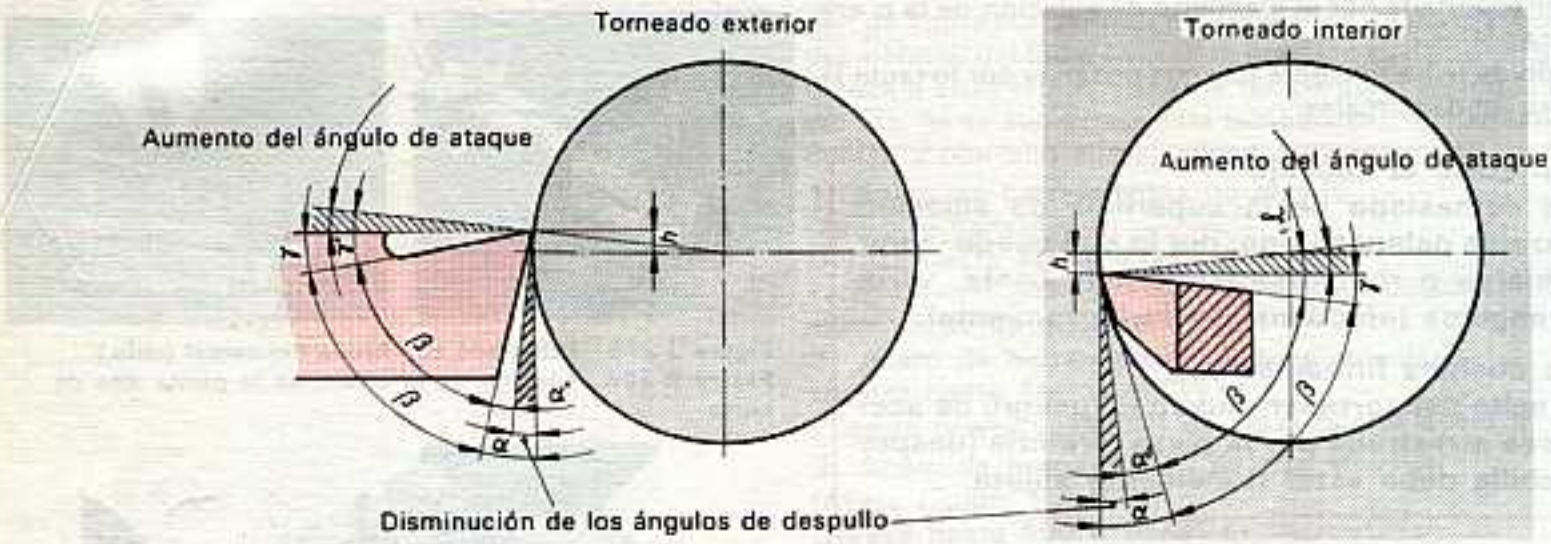


Figura 3-269. Cuando la cuchilla de torno para exteriores está sujeta por encima del centro (figura de la izquierda) o por debajo en el caso de cuchilla para interiores (figura de la derecha) las variaciones de los ángulos en ambos casos son iguales.

Los ángulos de ataque aumentan.
Los ángulos de despullo disminuyen.

γ, α = ángulos afilados
γ', α' = ángulos variados (ángulos efectivos)

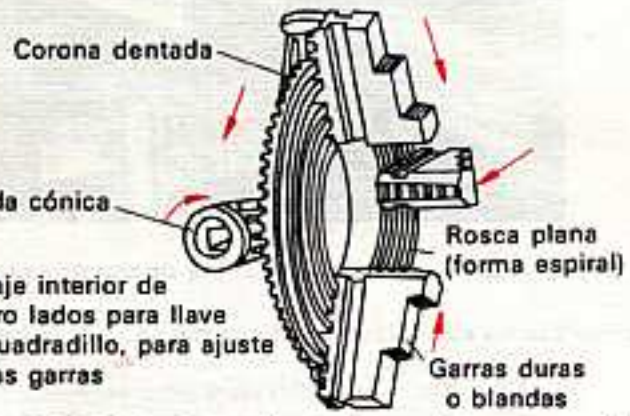


Figura 3-270. Funcionamiento de un plato universal de tres garras (plato con rosca helicoidal)

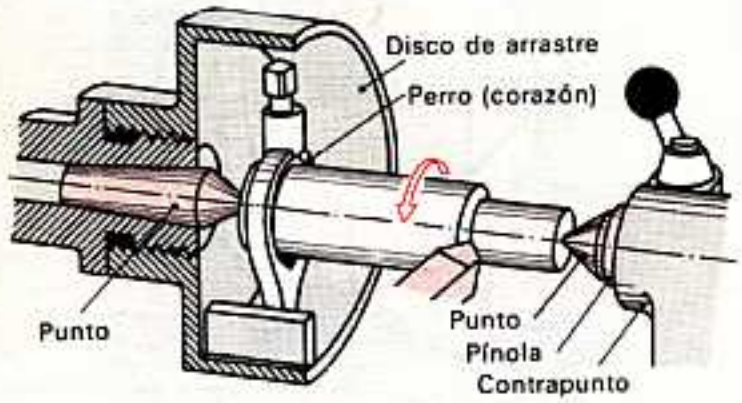


Figura 3-271. Sujeción entre puntos.

SUJECIÓN DE LAS PIEZAS

La diversidad de formas y tamaños de las piezas a sujetar exige diferentes tipos de elementos de sujeción. Estos elementos tienen que transmitir el movimiento principal de giro a la pieza a mecanizar y soportar sólidamente la reacción que se origina en la formación de la viruta.

El plato universal de tres garras se utiliza para sujetar piezas redondas, triangulares y hexagonales. Las tres garras se sujetan por medio de sus guías a una rosca plana con forma helicoidal. La cara trasera del disco roscado lleva corona dentada en la que engranan tres piñones cónicos con rebaje interior de cuatro lados y situados a 120°.

El movimiento de aprieto de las garras se consigue girando los piñones cónicos con una llave de cuadradillo. Se pueden apretar hacia adentro (garras de exteriores) y hacia afuera (garras de interiores). Los escalones en las garras amplían las posibilidades de sujeción. Las piezas en forma de barra se introducen en el agujero del husillo de trabajo y se sujetan con las garras.

El plato universal de cuatro garras se utiliza para la sujeción de piezas cuadradas y octogonales.

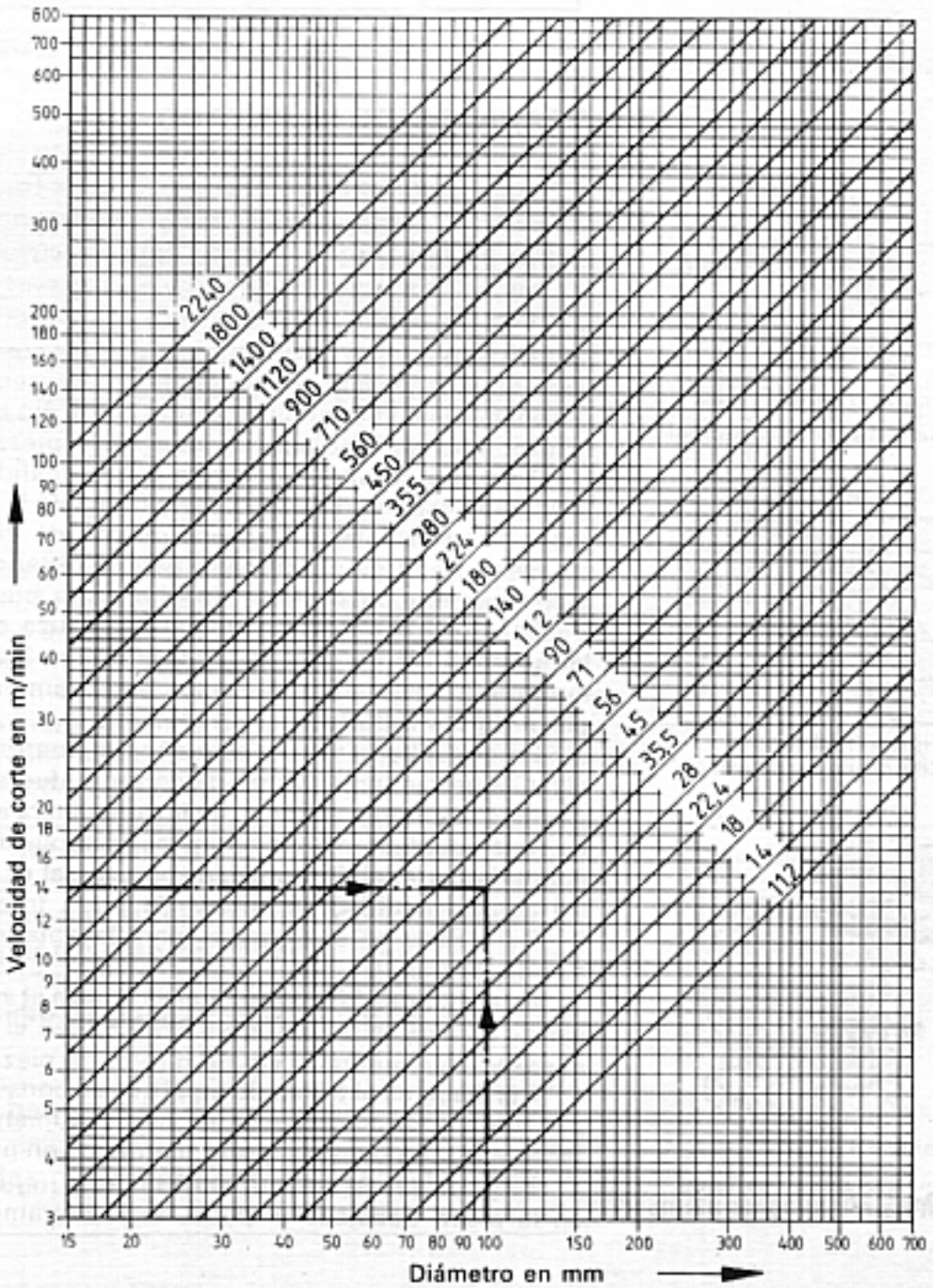
Mantener limpias las superficies de apoyo y las roscas del husillo de trabajo para la colocación de los platos universales. No dejar nunca la llave puesta en el plato, ni frenar éste con la mano cuando esté girando.

Sujeción entre puntos

En caso de que la pieza tenga que girar con un movimiento perfectamente circular, se montará ésta entre el punto del cabezal y el contrapunto. El **plato de arrastre** y el **perro** (o **corazón**) transmiten el movimiento de giro a la pieza a tornear. En cada una de las caras fron-

Material → / Material de corte →			St 33...44		St60		St85		Acero aleado 850...1000 N/mm²		Acero de herram		GG-20 GG-30		GTS GTW		Cobre		CuZn		G-CuSn		Aluminio puro	
			SS	P01	SS	P10	SS	P10	SS	M20	SS	M20	SS	M10	SS	K10	SS	K20	SS	K20	SS	K20	SS	K20
Avance en mm	0,1	Duración de la herramienta 60		315		280		212		190		63		150		150		1120		1320		630	400	2360
		240		280		236		170		150		50		106		106		500		600		355	224	1320
		480		250		212		150		132		45		90		90		335		400		265	170	1000
	0,2	60	60	280	40	250	25	180	24	150	9	50	32	125	43	125	63	1000	125	1180	63	500	300	2000
		240	43	236	38	200	18	140	17	118	6,3	40	22	90	30	90	53	450	95	530	48	280	170	1120
		480	36	212	24	180	15	125	14	106	5,3	36	19	75	25	75	48	300	80	355	40	212	125	850
		60	45	250	53	300	34	180	85	710														
	0,8	60	34	212	22	180	14	112	12	95		34	13	90	34	90	34	750	56	900	43	355	118	1500
		240	24	170	16	140	10	90	8,5	75		27	9,5	63	14	63	28	335	43	400	32	200	67	850
		480	20	150	13	125	8,5	80	7,1	67		24	8	53	12	53	25	224	36	265	27	150	50	630
	1,6	60	25	125	17	90	11	53	8,5			16	9,5	75	13	75	25	670	36	800	36	315	75	1250
		240	18	100	12	71	1,5	43	6			13	6,7	53	9,5	53	21	300	27	355	27	180	43	710
		480	14	90	10	63	6,3	38	5			11	5,6	45	19	45	9	200	22	236	22	132	32	530

Figura 3-280. Valores de la velocidad de corte en el torneado en m/min (según AWF 58) con $\kappa = 45°$.



Velocidad de corte baja

Ventajas: larga duración de la herramienta.
Inconvenientes: mayoe tiempo de producción de la pieza.

El correcto valor medio entre un tiempo de producción de la pieza lo más corto posible y una duración satisfactoria de la herramienta, se ha obtenido en múltiples ocasiones y recopilado en tablas.

Número de revoluciones

Una vez que se ha seleccionado la velocidad de corte hay que fijar la velocidad de giro correcta de la pieza a mecanizar en el cambio de velocidades principal. Se da en r.p.m. (revoluciones por minuto). El número de revoluciones depende de la magnitud del diámetro de la pieza a mecanizar y de la velocidad de corte seleccionada. Se puede calcular a partir de estos dos datos o determinar con un ábaco.

A velocidad de corte constante:

diámetro grande, número pequeño de revoluniones por minuto
diámetro pequeño, número grande de revoluciones por minuto

TRABAJOS DE TORNEADO

Los trabajos más importantes de torneado con arranque de viruta son el refrentado, cilindrado, perfilado y torneado de roscas. En el arranque de viruta se distingue entre desbaste y acabado.



Figura 3-281. **Refrentado transversal.**



Figura 3-282. **Refrentado longitudinal.**

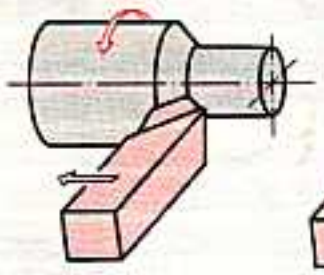


Figura 3-283. **Cilindrado longitudinal.**

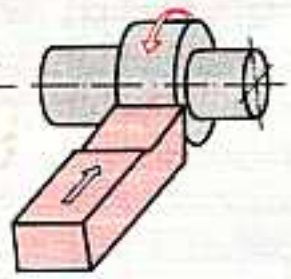


Figura 3-284. **Cilindrado transversal.**

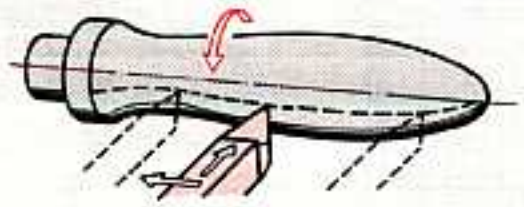


Figura 3-285. **Perfilado mediante giro de manivela.**



Figura 3-286. **Perfilado con herramienta de perfiles.**

Desbaste. Arranque de viruta con las condiciones de corte convenientes (velocidad y ángulos de corte y sección de la viruta) para obtener el máximo rendimiento de corte, sin tener en consideración la exactitud de medidas y forma de la pieza mecanizada.

Acabado. Arranque de viruta con la finalidad de obtener una determinada exactitud de medidas y forma de la pieza mecanizada, sin tener en consideración el rendimiento de corte.

Refrentado es el torneado para la obtención de una superficie plana perpendicular al eje de giro de la pieza trabajada.

En el **refrentado transversal** se realiza el avance perpendicularmente el eje de giro de la pieza (figura 3-281). En el **refrentado longitudinal** se realiza el avance paralelamente al eje de giro de la pieza (figura 3-282).

En el acabado y para pequeños diámetros de la pieza a mecanizar, la herramienta avanza de dentro a afuera. En el desbaste y para grandes diámetros es mejor avanzar de fuera a adentro. Si la cuchilla no está exactamente en altura del cambio de la pieza, queda una punta de material. El **tronzado transversal** es el refrentado transversal con la finalidad de separar la pieza trabajada.

Cilindrado es el torneado para la obtención de una superficie cilíndrica circular.

En el **cilindrado longitudinal** se realiza el avance paralelamente al eje de giro de la pieza (figura 3-283) y en el **cilindrado transversal** perpendicularmente al eje de giro de la pieza (figura 3-284).

Perfilado es el torneado en el que se consigue el perfil de la pieza por medio del control manual del movimiento de avance (giro de manivela), con plantilla (pieza patrón) o con programa (figura 3-285).

En el **perfilado con cuchilla de perfil** (figura 3-286) se reproduce en la pieza trabajada el perfil de la herramienta.

Roscado es obtener con una herramienta de perfiles una superficie roscada, siendo el avance por cada revolución igual al paso de la rosca.

Torneado de roscas es el roscado con avance paralelo al eje de giro de la pieza trabajada utilizando una herramienta de roscar para la obtención de una rosca (figura 3-287).

Torneado con peine de roscar es el roscado con avance paralelo al eje de giro de la pieza trabajada con un peine para la obtención de una rosca.

Terrajado es el roscado con avance paralelo al eje de giro de la pieza trabajada, utilizando una terraja o un cabezal de roscar para la obtención de una rosca.

Moleteado. Las superficies para manipular tornillos y tuercas no deben ser escurridizas. Las herramientas de moletear deben, ya en la primera vuelta de la pieza a mecanizar, estar sometidas a fuerte presión para que los dientes de la herramienta queden marcados en una sola vuelta de la pieza y formen las entalladuras.

RAA moleteado con entalladuras paralelas al eje; RBL moleteado a izquierdas; RBR moleteado a derechas; RG moleteado a izquierdas y derechas; RK moleteado cruzado.

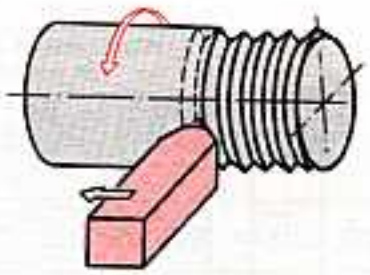


Figura 3-287. Tallado de roscas al torno.

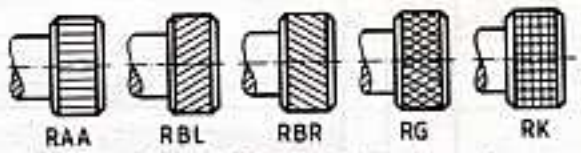


Figura 3-288. Formas de moleteado.

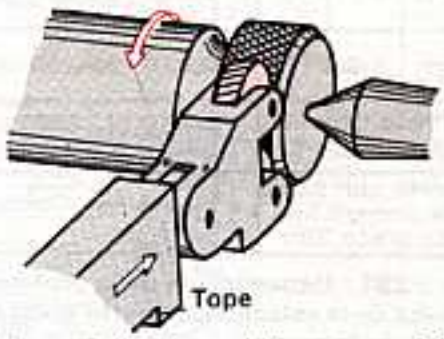


Figura 3-289. Herramienta de moletear en posición de trabajo.

EJEMPLO DE TRABAJO

Ejercicio:

Hay que producir por torneado un ajuste cilíndrico. El ajuste H7/g6 da por resultado un ajuste de juego estrecho entre las piezas como se utiliza en los rodamientos de los husillos o en las ruedas corredizas. La pieza exterior debe ser desplazable a lo largo de todo el muñón. Para poder satisfacer estas exigencias, la exactitud de formas y medidas y la rugosidad de la superficie de las piezas a ajustar, eje y taladro deben estar dentro de determinados límites.

Exactitud de formas

La desviación permisible de la forma geométrica del cilindro (falta de redondez, sinuosidades de las generatrices del cilindro) debe estar dentro de las tolerancias de medida, caso de no exigirse en el plano una mayor exactitud de formas. El estado de la máquina-herramienta influye esencialmente en la exactitud de formas.

La **redondez** del cilindro depende de la sujeción del husillo de trabajo del torno. En el torneado entre puntos es también importante el guiado por el contrapunto de la pieza.

1. **El rodamiento del husillo de trabajo no debe estar defectuoso, y en caso necesario hay que reajustarlo.**
2. **La pieza tiene que ser redonda y estar perfectamente centrada. Los puntos han de tener la superficie lisa.**

La rectitud del cilindro depende de la exactitud de las guías del carro.

1. **Las guías de la bancada no deben estar desgastadas a tramos.**
2. **El reajuste de las guías del carro debe ser realizado a tiempo.**

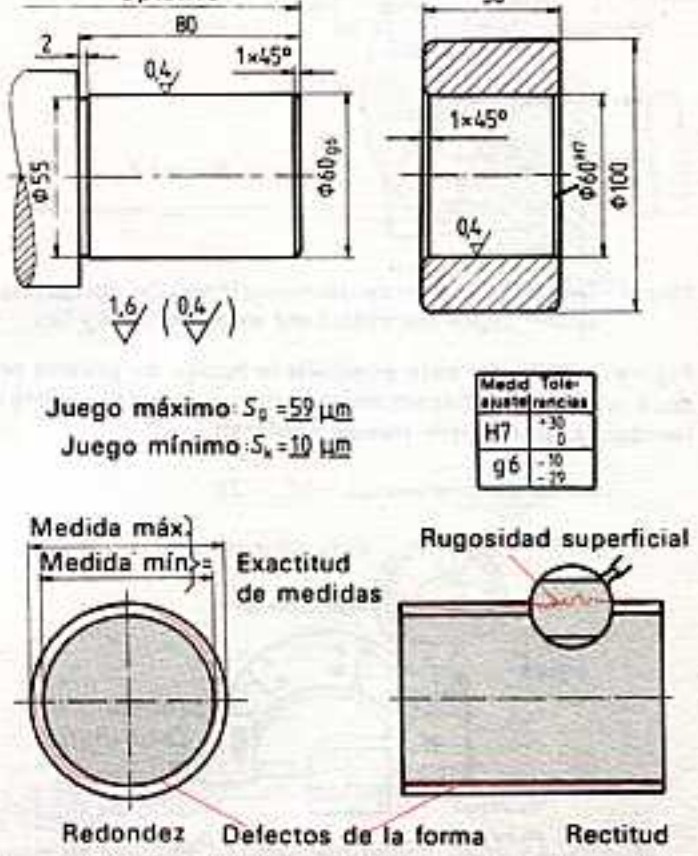


Figura 3-290. Relación entre exactitud de medidas, exactitud de forma y rugosidad de la superficie en una pieza mecanizada al torno.

Tipo n.º	v m/min	s mm/vuelta	r m/m	Rz en µm	Aspecto de la superficie
1	90	1,2	2	130	Profundidad medida de la rugosidad
2	150	0,4	0,8	24	
3	150	0,2	0,8	15	
4	210	0,1	0,8	10	
5	310	0,05	0,8	4	
6	150	0,4	1,6	15	
7	150	0,2	1,6	10	
8	210	0,1	1,6	8	
9	310	0,05	1,6	4	
10	Limado lima fina del picado 7			4	
11	Pulido con papel de esmeril fino de grano 280			1	

Figura 3-291. Dependencia de la profundidad de las rugosidades de la velocidad de corte *v*, del avance *s* y de la redondez de la punta *r*.

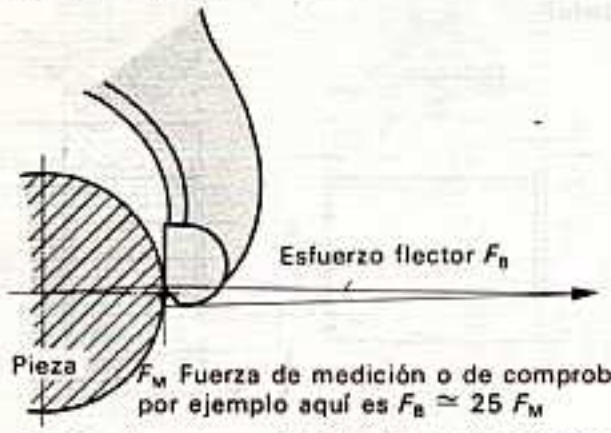


Figura 3-292. En esta posición la fuerza de prueba produce un esfuerzo flector mucho mayor sobre el calibre de herradura, por lo que puede doblarse.

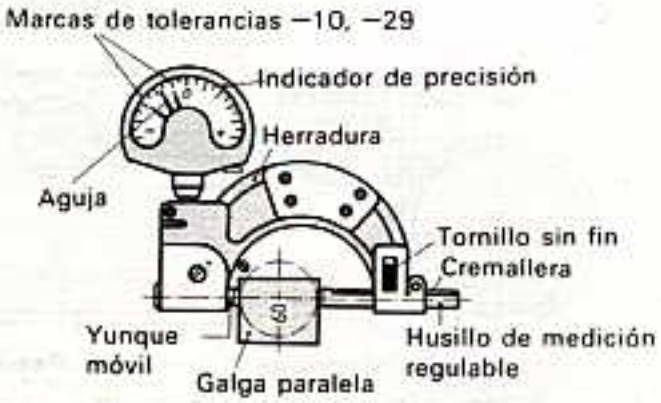


Figura 3-293. Ajuste de un medidor de palanca de contacto con galgas paralelas.

Rugosidad de la superficie

Ver también capítulo 5.3. «Superficies técnicas». La rugosidad de la superficie debe alcanzar solamente una fracción de la tolerancia de medida admisible. Está indicada en el plano (figura 3-290) con un valor medio aritmético de $R_a = 0{,}4$ µm en las superficies de ajuste y de $R_a = 1{,}6$ µm en las demas superficies.

La tabla adjunta indica las profundidades de la rugosidad que pueden alcanzarse aproximadamente dependiendo de la velocidad de corte, del avance y de la redondez de la punta, utilizando un torno y herramientas comunes.

La tabla muestra el valor medio de la profundidad de la rugosidad R_z. La relación entre R_z y R_a es aproximadamente 10:1. Para conseguir la profundidad de rugosidad $R_a = 1{,}6$ se debería trabajar con valores de la línea 3 o 6 de la columna Tipo n.º. Para superficies de ajuste con $R_a = 0{,}4$ podrían utilizarse los valores de las líneas 5 o 9. Hay que observar sin embargo que estos valores no siempre conducen a los mismos resultados, ya que la profundidad de corte depende además del estado de la máquina, de la refrigeración y libricación, de la formación de la viruta, etc.

1. **Utilizar únicamente herramientas correctamente afiladas.**
2. **La pieza a mecanizar y la herramienta no deben vibrar a altas velocidades de corte. Cuando lo hacen las causas pueden ser cojinetes del husillo de trabajos defectuosos, una herramienta incorrectamente sujeta o las vibraciones propias de la máquina.**
3. **Una buena refrigeración y lubricación de la zona de corte mejoran la superficie obtenida.**

Exactitud de medidas

Sólo cuando se observan las tolerancias prescritas se ajustan funcionalmente ambas piezas. Durante el proceso de torneado el tornero debe observar siempre la variación de medida de la pieza mecanizada. En el desbaste está dada por el avance de la herramienta y se lee en el tambor de medida del husillo de desplazamiento transversal (medida del radio). Se prueba con el calibre si la medida real está dentro de las medidas límite o de la tolerancia.

Calibres

Calibre de tolerancias 60 g 6; calibre macho de tolerancias 60 H 7. Los lados «pasa» del calibre deben poder pasar sobre la pieza mecanizada. Los lados «no pasa» tan solo deben apuntar.

1. **Las superficies de la pieza mecanizada y las de medida deben estar limpias de virutas.**
2. **No deben apretarse con fuerza los calibres sobre la pieza. Un apriete excesivo deforma el calibre y la superficie de la pieza.**

Medición con medidor de palanca de contacto (palpador)

Cuando no se disponga de los calibres apropiados se pueden probar los pernos con un calibre de herradura con indicador. Este aparato se puede ajustar a la medida nominal con galgas paralelas, discos de medición o calibres machos; las marcas de las tolerancias se colocan

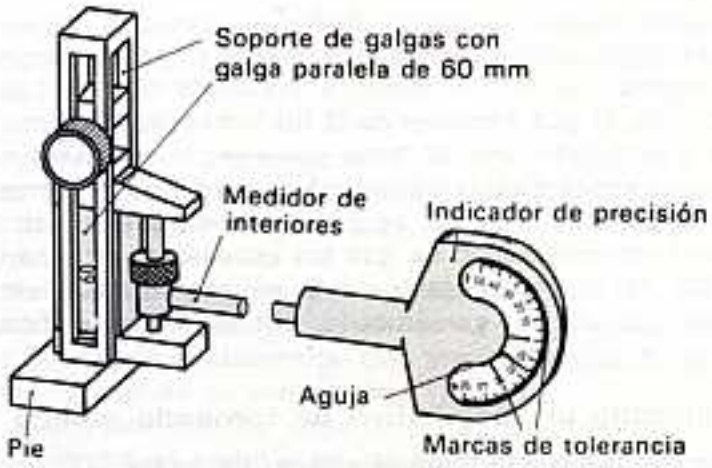


Figura 3-294. Ajuste de un medidor de interiores con galgas paralelas en un soporte para galgas (marcas de tolerancia de la figura: ±0 y +30).

en —10 y —29. Para el taladro puede utilizarse un medidor de interiores con indicador. Las marcas de la tolerancia se colocan en 0 y +30.

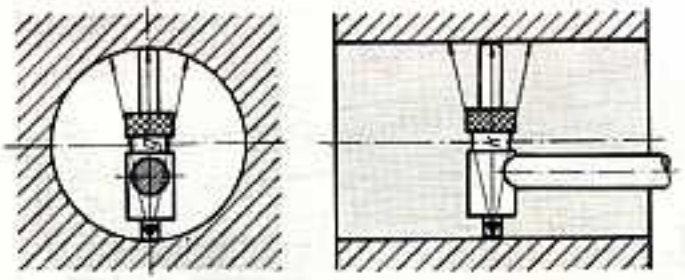


Figura 3-295. Medición con el medidor de interiores.
a) Determinar la medida mayor «*g*» transversal al eje.
b) Determinar la medida menor «*k*» a lo largo del eje.

1. **Proceder escrupulosamente al posicionar los aparatos de medida y al hacer las mediciones.**
2. **Observar todas las posibles causas de error, como temperatura, paralaje, fuerza de medición, iluminación, etc.**

TORNEADO CÓNICO

Para producir piezas de forma cónica con un torno hay tres posibilidades:

1. Girando el carro superior (corredera de la herramienta)

Para conos cortos con ángulo cónico entre 0° y 180°.

Trabajos preparativos. Girar el carro portaherramientas formando un ángulo igual a la mitad del ángulo del cono indicado en el plano

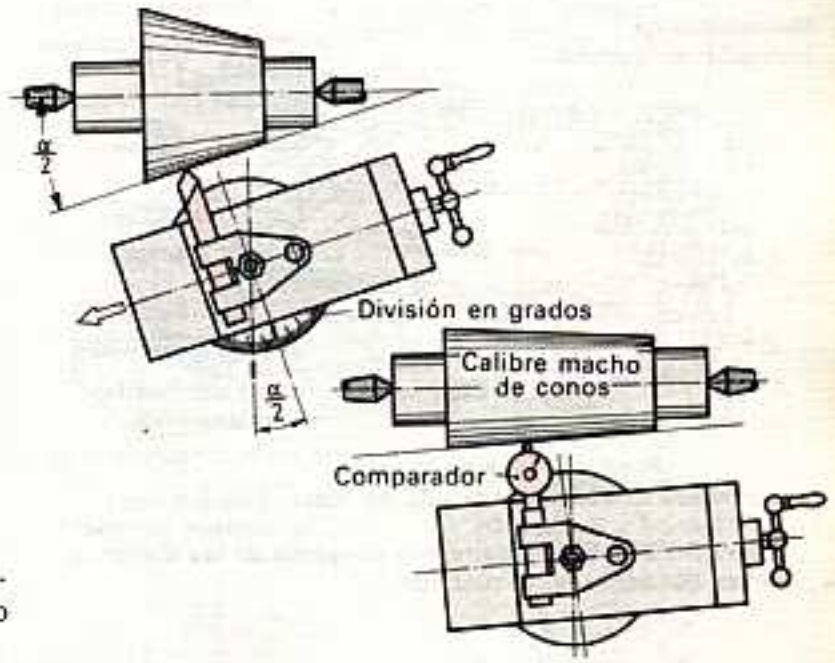


Figura 3-296. Torneado cónico modificando la posición del carro superior (de la herramienta).

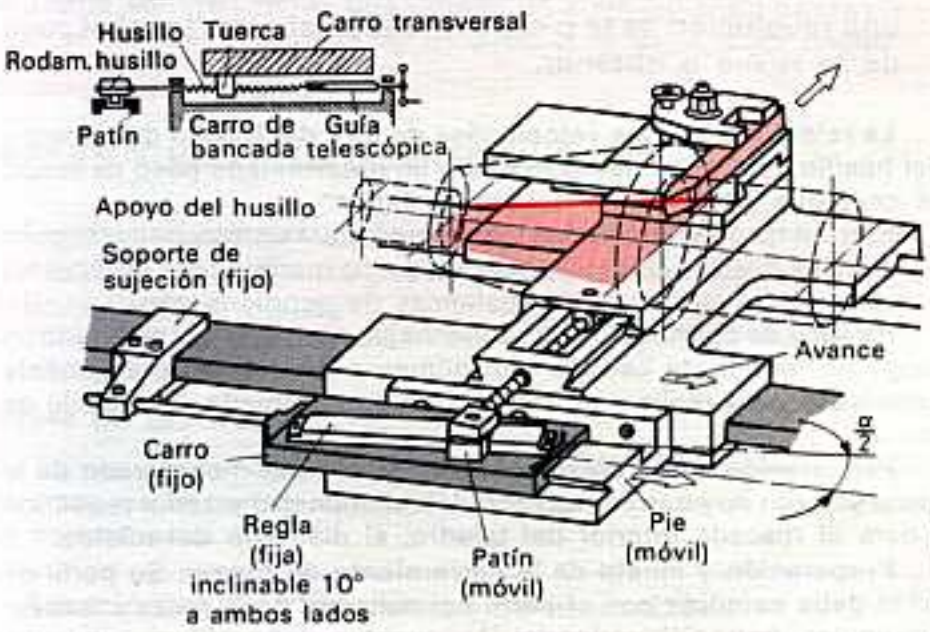


Figura 3-297. Torneado cónico con dispositivo de torneado cónico.
El soporte de sujeción tiene que sujetar al carro y a la regla, mientras que el carro de bancada con el pie y el patín realiza el movimiento de avance.

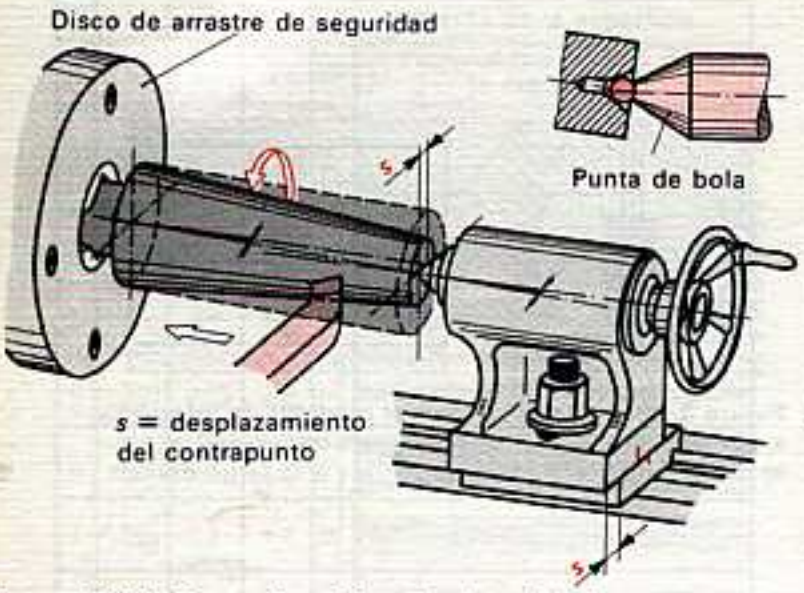
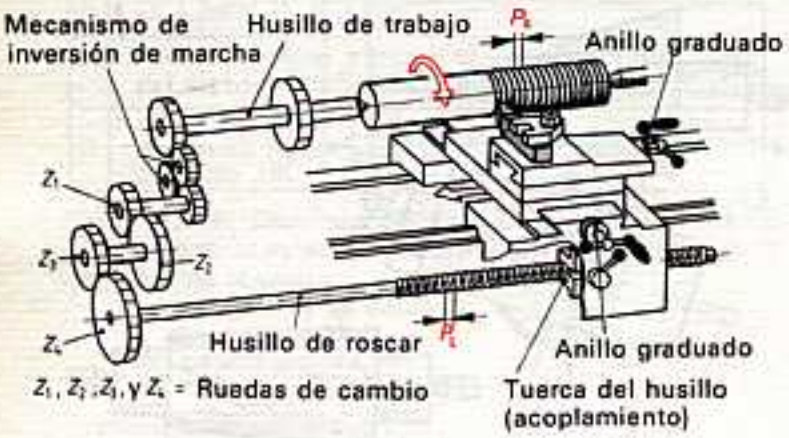


Figura 3-298. Torneado cónico desplazando el contrapunto.



$$\frac{\text{Paso de rosca de la pieza}}{\text{Paso de rosca del husillo de roscar}} = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$$

Figura 3-299. Funcionamiento conjunto de las distintas partes del torno en el roscado.

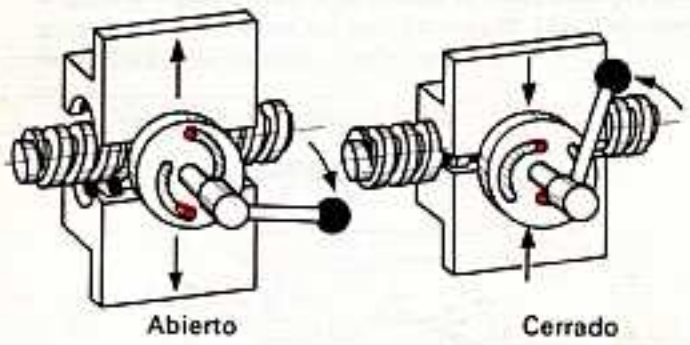


Figura 3-300. Funcionamiento de la tuerca del husillo.

o calculado a base de valores dados. Comprobar con comparador, pieza, modelo, calibre, macho de conos o galgas angulares.

Torneado. Girando a mano la manivela se da el avance a la herramienta. El giro irregular de la manivela produce una superficie rugosa u ondulada, por lo tanto sostener la manivela con ambas manos, una sobre otra. Longitud máxima del cono = carrera máxima del carro. Los conos largos se pueden componer a partir de varias secciones de cono, caso de que los escalones que aparecen en la superficie del cono no afecten a la utilización del mismo o eliminándolos por ulterior mecanizado, por ejemplo rectificándolos.

2. Utilizando un dispositivo de torneado cónico

Para conos largos con ángulo cónico de hasta 20°.

Trabajos preparativos. Fijar la regla de guía formando un ángulo igual a la mitad del ángulo del cono. Mover el carro de bancada por debajo de la pieza y fijar firmemente el dispositivo de sujeción.

Torneado. El carro de bancada recibe el movimiento de avance longitudinal de la barra de cilindrar. Con ello el patín sigue la regla inclinada y desplaza al carro transversal. Se aproxima la cuchilla girando la manivela del husillo del carro transversal. Longitud máxima del cono = longitud de la regla. La composición del cono a partir de secciones de cono es posible como en 1.

3. Descentrando el contrapunto

Para conos largos y estrechos.

Trabajos preparativos. Se desplaza lateralmente la parte superior del contrapunto en la medida *s*. Medir la magnitud del desplazamiento con comparador o medidor de profundidades o leer las divisiones del nonio en el contrapunto.

Torneado. El carro de bancada recibe el movimiento de avence uniformemente de la barra de cilindrar.

TORNEADO DE ROSCAS

En el torneado de roscas el avance de la herramienta en una revolución de la pieza torneada debe ser igual al paso de la rosca a obtener.

La relación entre las velocidades de giro del husillo de trabajo y del husillo de roscar, necesaria para un determinado paso de rosca, se consigue intercalando ruedas dentadas.

Engranaje de velocidades del avance. Para un determinado paso de rosca se puede seguir una instrucción de manejo para obtener las posiciones requeridas de las palancas de acoplamiento.

Ruedas de cambio. En máquinas viejas se monta por separado un juego de ruedas de cambio con números de dientes previamente calculados para realizar el accionamiento apropiado del husillo de roscar.

Preparación de la pieza a roscar. Antes del mecanizado de la rosca exterior hay que tornear el bulón al diámetro exterior requerido y para el roscado interior del taladro, al diámetro del núcleo.

Preparación y ajuste de la herramienta de roscar. Su perfil de corte debe coincidir con el perfil normalizado de la rosca a tornear (triangular, trapecial, redondo). La cuchilla debe afilarse con una

cuña. La magnitud del ángulo del filo se fija principalmente de acuerdo con el material de la fresa y de la pieza a mecanizar. Hay tres tipos de fresas:

H para materiales duros y tenaces
N para aceros, fundición gris blanda y metales no férricos.
W para materiales blandos y tenaces.

Fresas de dientes aguzados o fresados. Tienen filos rectos y se emplean para mecanizar superficies planas. Las fresas embotadas se afilan por la superficie destalonada. Con ello se reduce su diámetro pero sin menoscabo de su utilización.

Fresas destalonadas. Su superficie destalonada se hace en forma helicoidal con un torno especial. Los filos curvados tienen la forma de la pieza a mecanizar, por ejemplo el flanco del diente. Para que la forma del filo permanezca invariable sólo se puede afilar la fresa en la superficie de ataque con G = 0°.

Fresas de planeo perimetral. El eje de la fresa es paralelo a la superficie de trabajo y las virutas tienen forma de coma. Dado que el espesor de la viruta es irregular y para profundidades de corte pequeñas la fresa sólo ataca con un diente cada vez, la fresa y la máquina están sometidas a esfuerzos intermitentes. La superficie fresada queda ondulada. Las fresas con dientes oblicuos reducen el esfuerzo intermitente a que están sometidas.

Fresas de planeo perimetral y frontal. El eje de la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo. Las virutas son de espesor uniforme y la máquina trabaja suavemente. El eje de la fresa debe estar perfectamente perpendicular a la pieza para que la superficie de trabajo no resulte cóncava.

Fresado en sentido contrario al avance. El avance tiene sentido contrario al movimiento de corte del diente. Este procedimiento puede realizarse en todas las fresadoras. Tiene el inconveniente de que la fresa resbala al atacar la pieza por la parte con poco crecimiento de la superficie de corte y por ello se embota rápidamente. El rendimiento de corte es bajo.

Fresado en sentido del avance. El avance y el movimiento de corte tienen el mismo sentido. Las ventajas son: mejor ataque de corte, mayor duración de la fresa, mayor profundidad y rendimiento de corte. No deben fresarse en el sentido del avance piezas con una capa superficial colada o laminada. Este procedimiento sólo es realizable con fresadoras que tengan un dispositivo de fresado en sentido del avance. El husillo de avance no debe tener juego.

FRESAS Y VALORES DE MECANIZADO

Las fresas son útiles de acero de herramientas de corte múltiple. Cada diente puede considerarse como un filo de corte independiente.

Forma de las fresas

Las formas y tamaños de las principales fresas están normalizados. Sin embargo, se consigue bajo plano cualquier forma de fresa aparte las normalizadas.

Atención al fijar los valores de mecanizado

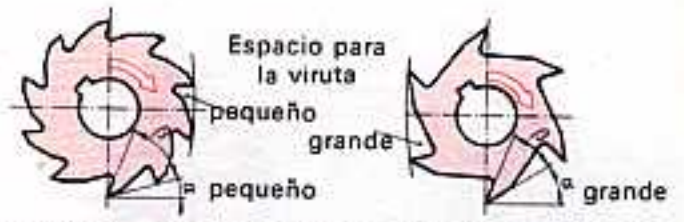


Figura 3-306. Fresas de dientes aguzados para materiales duros y blandos.

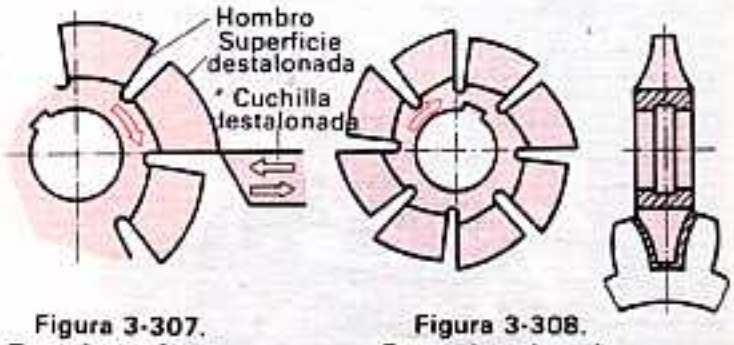


Figura 3-307. Destalonamiento.

Figura 3-308. Fresa destalonada.



a = profundidad de corte

Figura 3-309. Planeado perimetral.

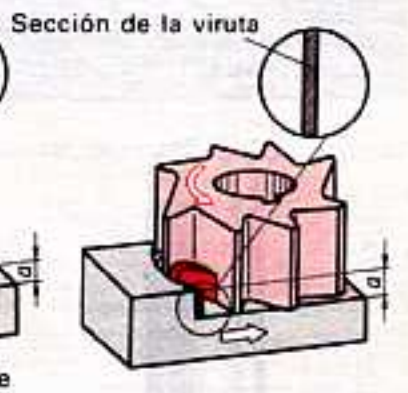


Figura 3-310. Planeado perimetral y frontal.

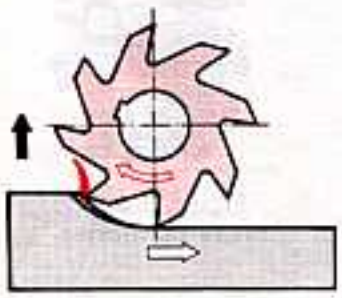


Figura 3-311. Fresado en sentido contrario al avance.

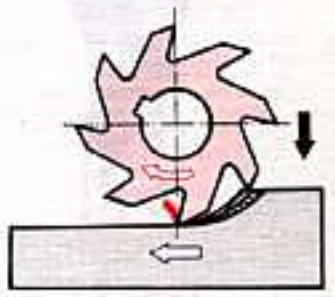


Figura 3-312. Fresado en sentido del avance.



Figura 3-313. Fresa cilíndrica.



Figura 3-314. Fresa cilíndrica-frontal.



Figura 3-315.
Fresa de disco.



Figura 3-316.
Fresa cónica.



Figura 3-317. Plato de cuchillas.



Figura 3-318.
Fresa de mango.



Figura 3-319.
Fresa de formas.

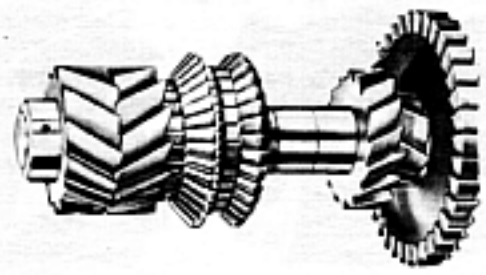


Figura 3-320. Tren de fresas.

Muchas de estas condiciones de mecanizado que influyen esencialmente en el arranque de viruta se establecen por práctica experimental. Proceder del siguiente modo:

1. **Elegir la velocidad de corte** de acuerdo con la tabla para aceros rápidos y duros y aplicar los siguientes coeficientes:

Fresado en sentido contrario al avance:
Desbaste = valor de la tabla
Acabado = valor de la tabla × 1,25

Fresado en sentido del avance:
Acabado = valor de la tabla × 1,5

Ejemplo:

Fresa de acabado de acero con una resistencia aproximada de 650 N/mm². Valor de la tabla: 18 m/min × 1,25 = 22 m/min.

2. **Fijar la velocidad de giro** de acuerdo con la velocidad de corte elegida y el diámetro de la fresa.

Ejemplo:

Fresa cilíndrica de 50 mm ϕ

$$n=\frac{1000\cdot v}{\pi\cdot d}=\frac{1000\cdot 22\ \text{m/min}}{3\cdot 50\ \text{m}}=146/\text{min}$$

3. **Fijar el avance.** La velocidad de avance en las fresadoras se fija en mm/min. La tabla contiene valores empíricos del avance por diente de fresa (S_z).

El avance S_z depende del material de la pieza a fresar y de la forma de la fresa. Si un diente de un material determinado puede, por ejemplo, soportar un S_z de 0,1 mm y la fresa tiene 10 dientes, el avance puede alcanzar el valor $S = 0{,}1 \times 10 = 1$ mm por revolución. Si la fresa gira, por ejemplo, a 100 r.p.m. la velocidad de avance $\mu = S \times n = 1$ mm × 100 r.p.m. = 100 mm/min.

Ejemplo:
S_z según la tabla = 0,15 mm/z; $z = 8$; $u = S_z \times Z \times n = 0{,}15 \times 8 \times 140 =$ 168 mm/min. Tomar el valor próximo inferior.

Material	Fresas de acero rápido HSS							Metal duro HM		
	v en m/min	s_z = mm/diente						v en m/min	s_z = mm/diente	
		Tipo de fresa (ver figura)								
		1	2	3	6	7	5		2	5
GG-15	18... 22	0,2	0,15	0,07	0,07	0,07	0,3	55... 65	0,2	0,3
GG-25	16... 20	0,2	0,15	0,07	0,07	0,07	0,3	45... 60	0,2	0,3
GTW-40	16... 20	0,2	0,2	0,07	0,07	0,07	0,3	45... 60	0,15	0,2
St 50...60	20... 24	0,2	0,15	0,07	0,07	0,07	0,3	80...120	0,15	0,2
St 60...70	18... 20	0,15	0,1	0,06	0,06	0,06	0,2	70...100	0,15	0,2
St 70...85	12... 16	0,1	0,1	0,06	0,06	0,06	0,2	60...100	0,15	0,2
St 80...110	12... 16	0,15	0,1	0,1	0,06	0,06	0,15	60... 90	0,1	0,15
St 100...120	10... 14	0,1	0,1	0,07	0,05	0,05	0,1	60... 90	0,1	0,1
GS-45	16... 20	0,15	0,15	0,07	0,07	0,07	0,2	50... 80	0,15	0,2
CuSn	40... 50	0,15	0,15	0,07	0,07	0,07	0,2	80...100	0,15	0,2
CuZn	50... 60	0,2	0,2	0,07	0,07	0,07	0,3	100...120	0,2	0,3
Al	250...350	0,1	0,1	0,07	0,07	0,07	0,15	400...800	0,1	0,2
G-Al	250...350	0,1	0,1	0,07	0,07	0,07	0,15	400...600	0,15	0,2
Plásticos	55... 70	0,15	0,15	0,1	0,07	0,07	0,15	160...200	0,2	0,3

Figura 3-321. Valores de la velocidad de corte y del avance para fresado.

4. Profundidad de corte a. En fresas cilíndricas hasta 5 mm, en fresas de disco a = ancho de la fresa, en fresas de mango fuertes a = diámetro de la fresa, en caso de fresado en sentido del avance a hasta la altura del diente.

Para profundidades de corte mayores debe reducirse la velocidad de corte o el avance.

CONSTRUCCIÓN DE LAS FRESADORAS

Además de las fresadoras para la producción en serie (fresadoras de planear) y para casos especiales (fresadoras de ranurar y otros) las más empleadas son las fresadoras de consola. Aquí sólo se tratará de estas máquinas.

Fresadoras de consola

Son apropiadas para la producción de pequeñas piezas por el método de fabricación «pieza a pieza» (y con control programado también para la producción de series pequeñas y medianas de hasta unas 2000 unidades). La herramienta realiza el movimiento principal y la pieza a fresar todos los movimientos auxiliares. Las características constructivas de todas las fresadoras de consola son iguales.

Estructura

El bastidor soporta todos los elementos tales como la consola con el carro o corredera transversal y la mesa, el motor principal con caja de

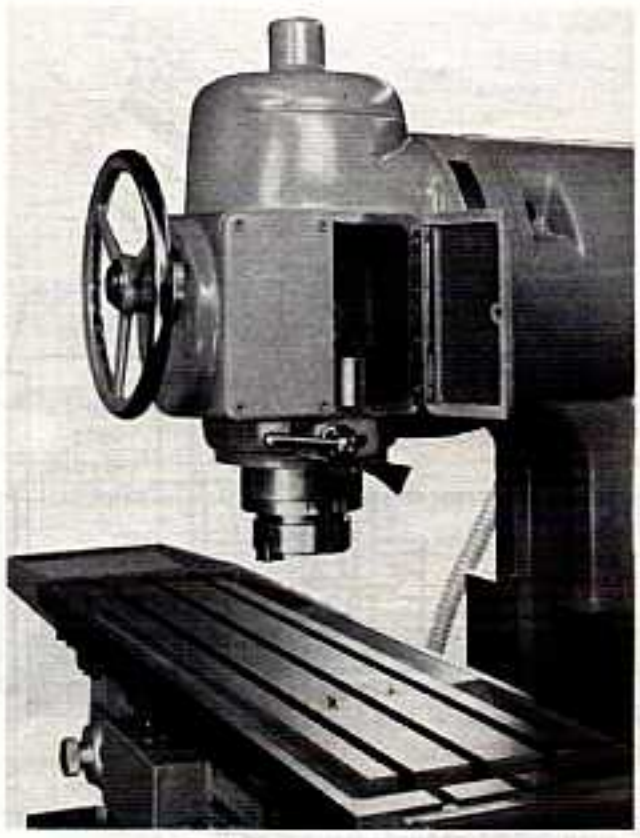


Figura 3-322. Cabezal de una fresadora vertical.

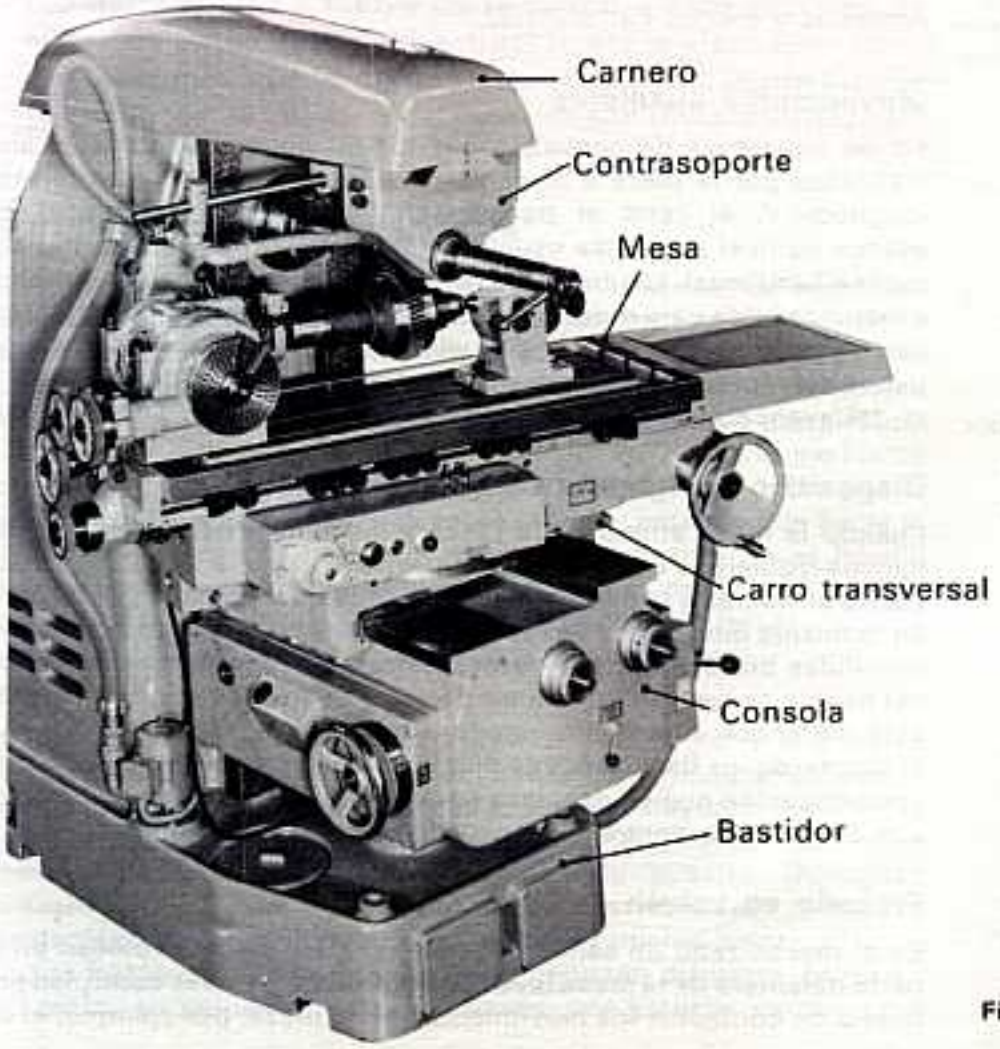


Figura 3-323. Fresadora universal.

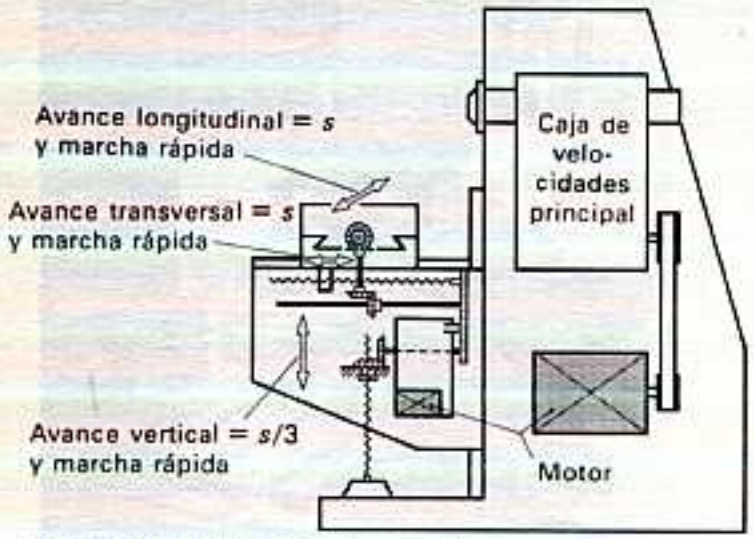


Figura 3-324. Movimientos auxiliares.

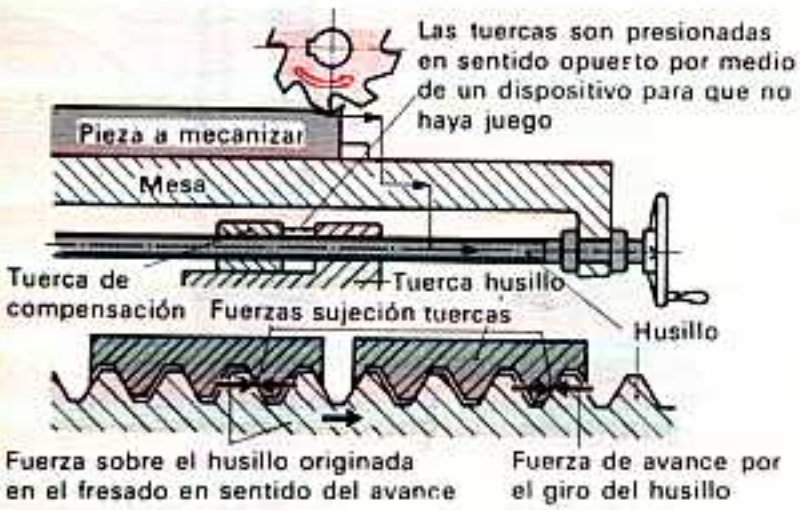


Figura 3-325. Dispositivo de fresado en sentido del avance.

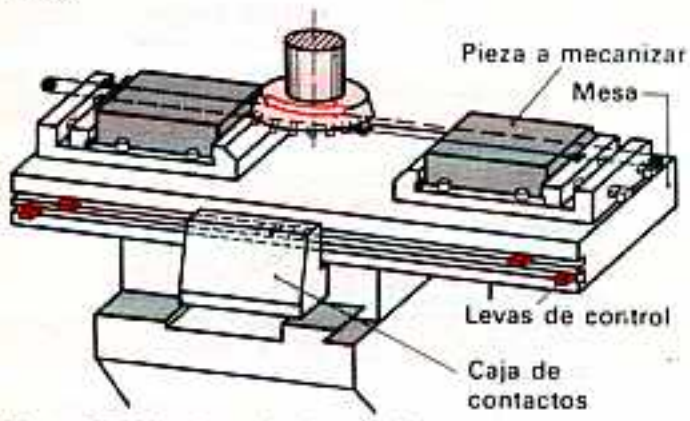


Figura 3-326. Fresado de vaivén.

velocidades y husillo portafresas, el carnero con contrasoporte. El engranaje de velocidades principal tiene en general 18 velocidades de giro (20 r.p.m. a 400 r.p.m.) y está fabricado como engranaje de ruedas desplazables.

La consola es desplazable verticalmente sobre el bastidor y soporta al carro transversal. En todas las fresadoras modernas el accionamiento del avance y su motor están incorporados a la consola. El engranaje de velocidades del avance se regula en hasta 24 posiciones distintas con avances de 10 hasta 1000 mm/min.

El carro transversal está situado entre la consola y la mesa y permite el desplazamiento transversal de esta última.

La mesa está provista de ranuras longitudinales para la sujeción de la pieza a mecanizar y realiza el movimiento de avance longitudinal.

El carnero con sus dos **contrasoportes** sujeta al mandril de la fresa.

Tipos de fresadoras de consola

a) **Fresadoras horizontales** con husillo portafresas horizontal.
b) **Fresadoras verticales** con husillo portafresas vertical.
c) La **fresadora universal** se diferencia de la horizontal por dos características.

La mesa puede girarse 45° en ambos sentidos alrededor de un eje vertical.

El cabezal se puede unir a través del juego de ruedas de cambio con el husillo alargado de la mesa, de forma que la pieza a fresar recibe un movimiento adicional de giro.

Con esta máquina también se pueden fresar por lo tanto brocas helicoidales, escariadores de dentado oblicuo, fresas, ruedas dentadas y ruedas helicoidales.

Movimientos auxiliares

En las fresadoras de consola todos los movimientos auxiliares son realizados por la pieza a mecanizar. La mesa realiza el movimiento longitudinal, el carro el transversal y la consola el vertical. El avance vertical se realiza usualmente a sólo $^1/_3$ de la magnitud del avance horizontal. Los tres movimientos se pueden ejecutar también a marcha rápida para reducir el tiempo de ajuste. Ya que en el fresado con fresas grandes y potentes la velocidad de giro es baja y el avance puede ser rápido, y viceversa, el engranaje de velocidades principal y el del avance suelen ser en general independientes uno del otro.

Dispositivo de fresado en sentido del avance

Cuando la mesa arrastra a la pieza a mecanizar hacia la fresa, los flancos izquierdos del husillo se apoyan en la tuerca de éste. La fresa agarra entonces a la pieza a mecanizar que es empujada por la mesa en la misma dirección y arrastra a la pieza, a la mesa y al husillo con sacudidas bruscas hacia la derecha, hasta que los flancos derechos del husillo se apoyan en la tuerca (juego de los flancos). A causa de este «avance» indeseado puede romperse la fresa. Este fuego peligroso de los flancos puede eliminarse por medio de una tuerca de compensación que se desplaza hacia la izquierda por un dispositivo que la presiona contra el flanco derecho del husillo.

Fresado en vaivén

En el mecanizado de series pequeñas o medianas se colocan en la parte delantera de la mesa levas de control. Estas levas controlan por medio de contactos los movimientos de la mesa, por ejemplo, el de

avance, el de marcha rápida, a derechas, a izquierdas, o la parada. Con este control por levas se pueden mecanizar las piezas con continuidad (ininterrumpidamente y sucesivamente) utilizándose dos útiles de sujeción rápida para cada una de las piezas a mecanizar. Mientras se está fresando en un extremo se puede cambiar la pieza en el otro. Esta secuencia de trabajo de vaivén acorta apreciablemente el tiempo total de producción.

Fresado en vaivén con control programado

El desarrollo ulterior del fresado en vaiven incluye también el control automático del movimiento transversal del carro y el movimiento vertical de la consola. Según sea el sistema de control los impulsos para el cambio del avance a la marcha rápida, para el ajuste transversal o en altura y para la parada, se dan por medio de levas, tarjetas perforadas o cintas perforadas. El conjunto de los impulsos necesarios para el mecanizado de una pieza determinada se llama programa. Si se le ha introducido a la máquina uno de estos programas, la máquina mecaniza la pieza automáticamente.

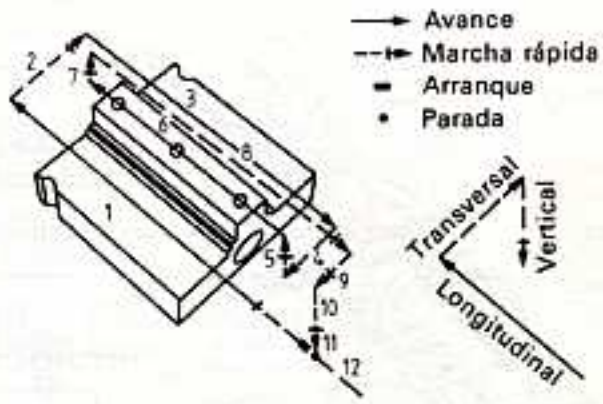


Figura 3-327. Fresado de vaivén con control programado.

SUJECIÓN DE LA HERRAMIENTA Y DE LA PIEZA A MECANIZAR

La fuerza de arranque de la viruta es transmitida desde el motor principal hasta el punto del arranque a través del engranaje de velocidades, del husillo de la fresa, del elemento de sujeción de la fresa, de la fresa misma y del filo del diente. La fuerza de reacción a este proceso de arranque actúa desde el bastidor hasta la pieza a mecanizar, pasando por la consola, la mesa y el elemento de sujeción de la pieza, que pueden ser unas mordazas.

Fuerzas actuantes sobre la fresa

La fuerza de corte F_c se origina al arrancar la viruta. Su magnitud depende principalmente del material, de los ángulos del filo, de la magnitud del avance y del ancho de la fresa. Al aumentar la fuerza de corte también aumentan las otras fuerzas. La fuerza de corte (fuerza tangencial) es aplicada por el accionamiento del husillo portafresas. Actúa en el husillo portafresas y en el mandril de la fresa como fuerza rotatoria o momento torsor. La fuerza radial F_M se origina por la presión de la pieza mecanizada sobre la fresa; está dirigida hacia el centro de la fresa y ejerce un esfuerzo de flexión en el husillo portafresas. La composición de las fuerzas F_c y F_m origina la **fuerza de arranque** F_2. Cambia de sentido con el giro de la fresa.

Sujeción de las fresas

En la sujeción de la fresa actúan un momento torsor y una fuerza flectora. En las fresas cilíndricas, fresas de formas y cabezales portacuchillas, el momento torsor es en general muy alto. Por lo tanto estas fresas se sujetan por elementos de arrastre de forma como chavetas, y superficies o aristas de arrastre. Diámetros pequeños de fresas requieren momentos torsores reducidos manteniéndose el rendimiento de corte, al mismo valor.

Las fresas de mango a causa de su pequeño diámetro, se fijan y por tanto, su pequeño momento torsor, por **fricción**, es decir por

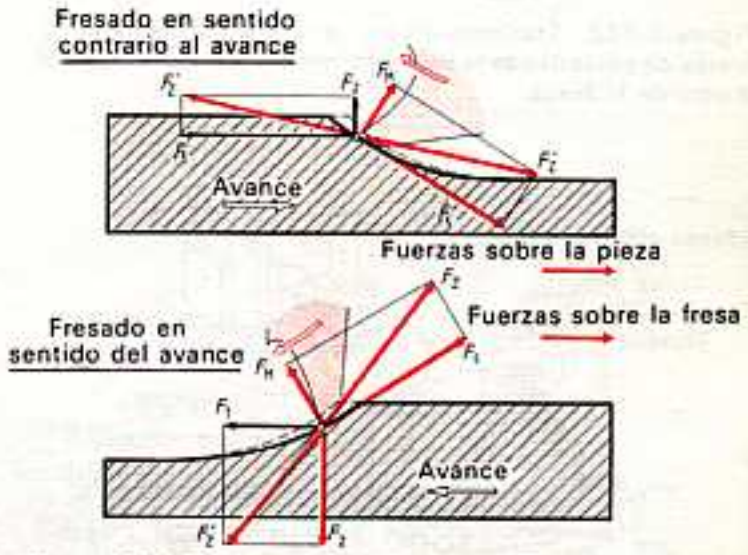


Figura 3-328. Fuerzas sobre la fresa y sobre la pieza.

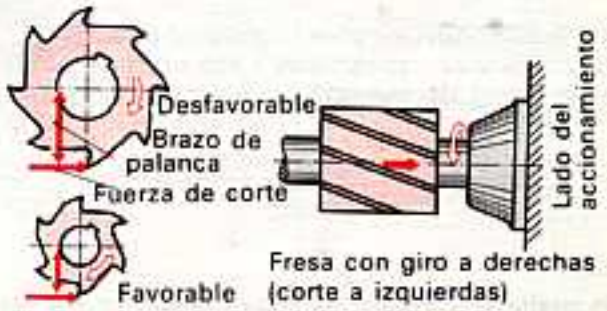


Figura 3-329. Diámetros pequeños de la fresa requieren momentos torsores pequeños en el husillo portafresas. Figura 3-330. Montar fresas con dentado oblicuo de forma que la fuerza de empuje axial está dirigida hacia la máquina.

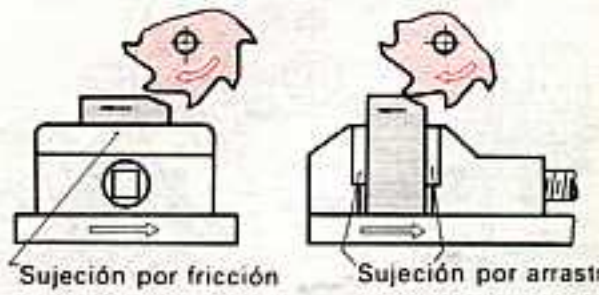


Figura 3-331. Ejemplos de sujeción de la pieza.
1. Sujeción por fricción: Las superficies de la mordaza están unidas a las de la pieza por rozamiento. Sólo puede aplicarse una fuerza limitada.
2. Sujeción por arrastre: Las superficies opuestas del material transmiten fuerzas de cualquier magnitud.

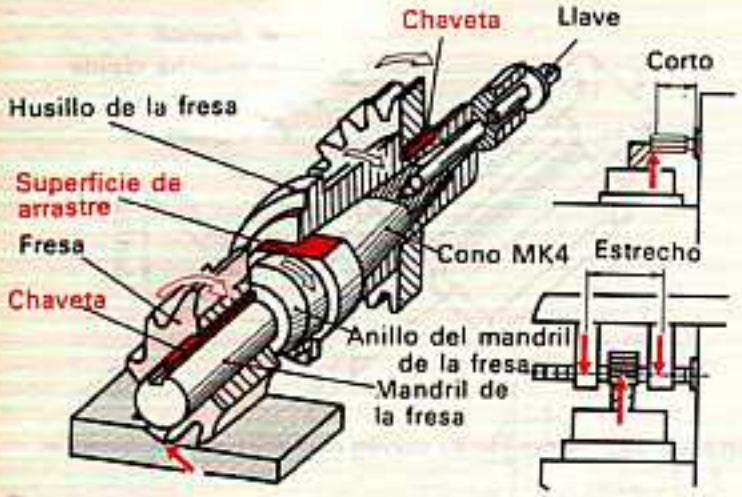


Figura 3-332. Transmisión por arrastre de forma de la fuerza de corte desde la caja de cambios principal hasta el diente de la fresa.

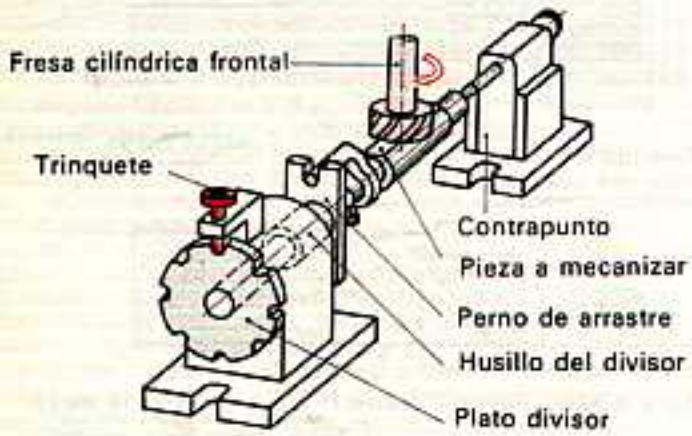


Figura 3-333. Divisor para la división directa.
El plato divisor es intercambiable con otros platos con distintos números de muescas (círculos de orificios)

$\frac{1}{3}$ de vuelta = 5 distancias entre orificos en el círculo de 15 orificios, o de 6 en el de 18 orificios

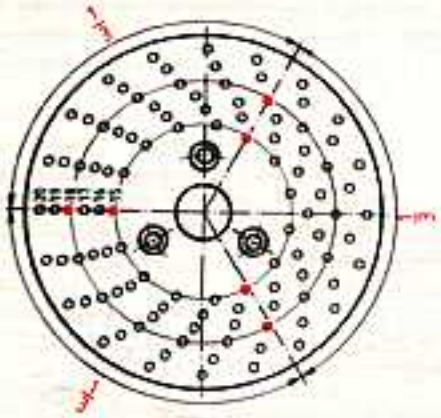


Figura 3-334. Disco de orificios — indicado $\frac{1}{3}$ de vuelta de manivela.

Disco I	15–16–17–18–19–10	orificios
Disco II	21–23–27–29–31–33	orificios
Disco III	37–39–41–43–47–49	orificios

medio de portabrocas, pinzas de sujeción u orificios cónicos, de fijación.

Para absorber el esfuerzo flector se montan los soportes próximos a la fresa. En las fresas de mango montadas al aire se eligen avances cortos para que el esfuerzo flector sea bajo.

Fuerzas actuantes sobre la pieza a mecanizar

En el fresado en sentido contrario al avance, la fresa empuja a la pieza horizontalmente (F_1) y en las posiciones altas del diente actúa en dirección vertical (F_2). En el fresado en sentido del avance las fuerzas actúan algo más favorablemente ya que no aparece ninguna fuerza de elevación y por esta razón se pueden realizar cortes más profundos. La sujeción de la pieza tiene que soportar solamente la fuerza F_1 que actúa horizontalmente pues la F_2 presiona la pieza contra la mesa.

Sujeción de la pieza a mecanizar

Las piezas pequeñas se sujetan en general por medio de mordazas. Para las diversas formas de las piezas y los distintos procedimientos de trabajo hay mordazas rígidas, orientables, abatibles y de cierre rápido y algunas con elementos prismáticos incorporados para la sujeción de piezas cilíndricas. Las piezas grandes se sujetan como en las cepilladoras o mortajadoras directamente a la mesa.

PROCEDIMIENTOS DE DIVISIÓN

Para la mecanización de secciones cuadradas o hexagonales, ruedas dentadas y de bloqueo, fresas, escariadores, etc., la pieza a mecanizar, previamente torneada con sección cilíndrica, tiene que ser girada un cierto ángulo después de cada fase de trabajo y sujetada firmemente, de nuevo.

División directa con el divisor

Se sujeta la pieza a mecanizar entre el punto del divisor y el contrapunto. Queda unida al plato divisor por intermedio del perno de arrastre y el husillo del divisor. El plato divisor tiene en general 24 muescas u orificios, de forma que puede fijarse en cada una de las posiciones con un trinquete. Se pueden conseguir todas las divisiones correspondientes a los submúltiplos de 24: 24, 12, 8, 6, 4, 3 y 2. Después de fresar una superficie, un diente o una entalladura, se gira el plato divisor el número necesario de muescas y se fija.

División indirecta con el cabezal divisor universal

La pieza a mecanizar se sujeta aquí también entre el contrapunto y el punto del cabezal divisor o en un plato de tres garras. La pieza a mecanizar y el husillo del divisor están unidas a través del perno de arrastre. El husillo del divisor se gira con la manivela por intermedio de un juego de rueda helicoidal de 40 dientes y tornillo sin fin de un paso. Cuarenta vueltas de la manivela producen una vuelta del husillo del divisor y, por lo tanto, de la pieza a mecanizar.

En la mecanización de una pieza, por ejemplo una rueda dentada, se conoce el número de divisiones p, así como el número de pasos del tornillo sin fin (de un paso) y el número de dientes de la rueda helicoidal ($z = 40$). Los cabezales divisores antiguos tienen ruedad helicoidales con 60 u 80 dientes. El número de vueltas de la

manivela se calcula como sigue:

$$\text{Vueltas de la manivela} = \frac{\text{Número de dientes de la rueda helicoidal}}{\text{Número de divisiones}}$$

$$n_k = \frac{z}{p}$$

Cuando el número de divisiones requerido es mayor que 40, se le da a la manivela sólo una fracción de vuelta.

Ejemplo:

Una rueda dentada tiene 120 dientes. $p = 120$; $z = 40$
vueltas de la manivela. $n_k = \frac{40}{120} = \frac{1}{3}$

Para poder dar $\frac{1}{3}$ de vuelta de manivela u otra fracción, se utilizan discos con 18 juegos distintos de orificios (círculos de orificios). Se puede dar $\frac{1}{3}$ exacto de vuelta con los círculos de 15, 18, 21, 27, 33 y 39 orificios y con cualquier otro círculo cuyo número de orificios sea múltiplo de 3. Para $\frac{1}{3}$ de vuelta con un disco de 15 orificios se fija la manivela cada 5 orificios; con un disco de 18 cada 6, con uno de 21 cada 7, etc. Elegir siempre el círculo de mayor número de orificios para conseguir la división más exacta.

Cálculo:

Para conseguir la fracción $\frac{1}{3}$ con los discos de orificios existentes:

$n_k = \frac{z}{p} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3} = \frac{5}{15}$, es decir, de 5 en 5 orificios con el círculo de 15 orificios, o mejor de 11 en 11 con el de 33 orificios ó 13/39.

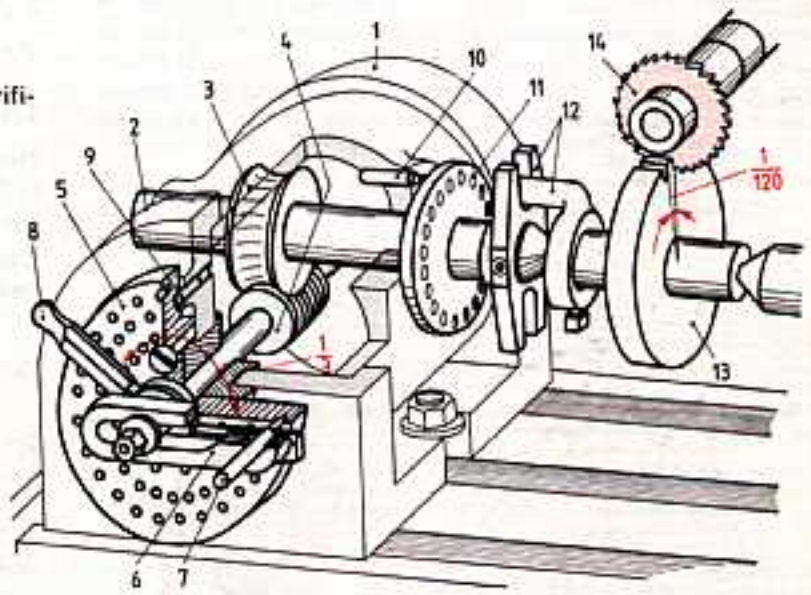


Figura 3-335. Cabezal divisor universal (representación simplificada).
1 Carcasa, 2 Husillo del divisor, 3 Rueda helicoidal con 40 dientes, 4 Tornillo sin fin de un paso, 5 Disco de orificios, intercambiable, 6 Manivela, 7 Espiga indicadora, 8 Tijera, 9 Perno de trinquete del disco de orificios, 10 Perno de trinquete para división directa, 11 Plato divisor para división directa, 12 Perno de arrastre, 13 Pieza a mecanizar, 14 Fresa

División de compensación (división diferencial)

Con la división indirecta sólo pueden realizarse aquellas divisiones en las que la fracción $40/p$ se puede simplificar de forma que el denominador resultante sea igual al número de orificios de uno de los círculos de orificios existentes.

La rueda cilíndrica dentada, solidaria del disco de orificios, gira sobre el eje del tornillo sin fin.

El movimiento de giro es transmitido desde la manivela del divisor hasta el disco de orificios a través del tornillo sin fin, de la rueda helicoidal, de las ruedas de cambio, del engranaje cónico y del de la rueda cilíndrica dentada. Según sean las ruedas de cambio se puede hacer girar al disco de orificios en el mismo sentido o en sentido contrario al de la manivela del divisor. Si se suprime la rueda intermedia z, en un giro a izquierdas de la manivela, el disco de orificios gira a derechas. La distancia de las ruedas de cambio se ajusta por medio de una palanca. A cada cabezal divisor le corresponde un juego normalizado de ruedas de cambio con los siguientes números de dientes:

24	24	28	32	36	40	44
48	56	64	72	86	100	

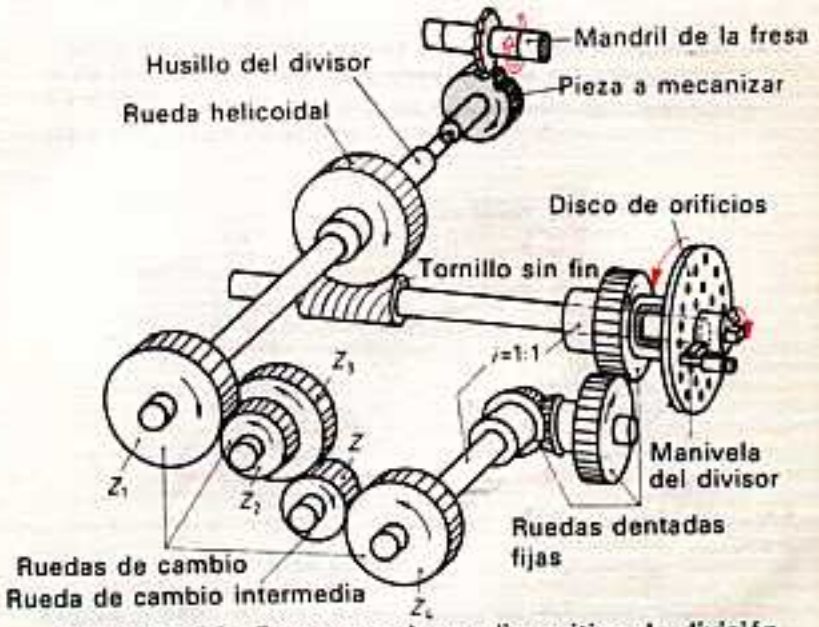


Figura 3-336. Estructura de un dispositivo de división diferencial.



Figura 3-337. Giro en sentido contrario o en el mismo sentido del plato divisor en la división diferencial.
Cuando p es mayor que p' giro del plato en sentido contrario.
Cuando p es menor que p' giro del plato en el mismo sentido.

Ejemplo:

Calcular el número de vueltas n_k de la manivela del divisor para los números de divisiones p de 70 a 80.

$$n_k = \frac{40}{p} = \frac{40}{70} = \frac{4}{7} = \frac{12}{21}$$

$\frac{40}{71}$ no se puede simplificar

$$\frac{40}{72} = \frac{10}{18}$$

$\frac{40}{73}$ no se puede simplificar

$$\frac{40}{74} = \frac{20}{37}$$

$$\frac{40}{75} = \frac{8}{15} \text{ etc..}$$

Las divisiones en 71, 73, 77 y 79 partes no se pueden realizar por división indirecta; hay que hacerlas por división diferencial.

En la división diferencial se calcula el número de vueltas n_k de la manivela del divisor para un número de divisiones elegido mayor o menor. Este número de divisiones auxiliar p' hay que elegirlo de forma que se obtenga fácilmente con los platos divisores existentes. Para llegar al número de divisiones deseado p debe girarse el plato divisor por valor de la diferencia entre el número auxiliar de divisiones y el deseado, en el mismo sentido o en sentido contrario al de la manivela del divisor. Este giro de compensación o diferencial del disco divisor se consigue por medio de las ruedas de cambio cuya relación de transmisión hay que calcular. Hay que realizar por tanto dos cálculos:

1.º Cálculo del número de orificios del círculo a partir del número auxiliar p'.
2.º Cálculo de las ruedas de cambio para el giro diferencial del plato divisor.

Ejemplo:

Hay que fresar una rueda dentada con 71 dientes.
$p = 71$; número auxiliar de divisiones elegido $p' = 70$.

1.er cálculo:
Cálculo del número de orificios y del disco de orificios como si hubiera que fresar 70 dientes.

$$n_k = \frac{40}{p'} = \frac{40}{70} = \frac{4}{7} = \frac{12}{21} =$$ de 12 en 12 orificios en el círculo de 21 orificios

2.º cálculo:
Cálculo de la rueda de cambio para el giro diferencial del plato divisor.

$$i = \frac{40}{p'}(p' - p)$$

$$= \frac{40}{70}(70 - 71) = \frac{4}{7} \cdot -1 = -\frac{4}{7} = -\frac{32}{56}$$ rueda motriz / rueda accionada

Hay que tener en cuenta el signo del resultado. Si es negativo hay que girar el plato divisor en sentido contrario al de la manivela, y si es positivo en el mismo sentido. El sentido de giro del plato divisor se logra intercalando o eliminando una rueda de cambio intermedia.

Con números grandes de divisiones pueden ser necesarias hasta 4 ruedas de cambio.

Ejemplo:

$p = 293 \quad p' = 300$ (elegido)

1.er cálculo:

$$n_k = \frac{40}{p'} = \frac{40}{300} = \frac{2}{15}$$ 2 distancias entre orificios en el círculo de 15 orificios

2.º cálculo:

$$i = \frac{40}{p'}(p' - p) = \frac{40}{300}(300 - 293) = \frac{40}{300} \cdot 7$$

$$= \frac{280}{300} = \frac{28}{30} = \frac{4 \cdot 7}{6 \cdot 5} = \frac{32 \cdot 28}{24 \cdot 40}$$ ruedas motrices / ruedas accionadas

Fresado helicoidal

En la mecanización de brocas helicoidales, escariadores o fresas de dientes oblicuos, hay que fresar ranuras de forma helicoidal. Para ello la pieza a mecanizar debe realizar dos movimientos:

1. Avance rectilíneo (por medio de la mesa).
2. Movimiento de giro (por medio del cabezal divisor).

Ambos movimientos se realizan al mismo tiempo, de modo parecido al roscado en el torno, de forma que la herramienta sigue una línea helicoidal en la periferia cilíndrica de la pieza a mecanizar. También aquí hay que calcular las ruedas de cambio que transmiten el movimiento de giro del husillo de la mesa al husillo del cabezal divisor con la pieza a mecanizar.

Para calcular las ruedas de cambio deben ser conocidos los pasos de rosca del husillo de la mesa y de la pieza a mecanizar. Se puede determinar el número de dientes de las ruedas de cambio por la relación de esos dos pasos de rosca, ya que ésta es igual a la relación de transmisión de las ruedas de cambio. Hay que introducir en el cálculo la relación 40:1 del cabezal divisor:

$$\text{Relación del número de dientes} = \frac{\text{Paso de rosca del husillo de la mesa} \cdot 40}{\text{Paso de rosca de la pieza a mecanizar} \cdot 1}$$

$$i = \frac{P_T \cdot 40}{P \cdot 1}$$

Ejemplo:

Una pieza de 200 mm de diámetro debe ranurarse helicoidalmente con un paso de hélice (de rosca) de 1 500 mm. Paso de rosca del husillo de la mesa = 6 mm.

$$i = \frac{P_T \cdot 40}{P \cdot 1} = \frac{6 \cdot 40}{1500} = \frac{240}{1500} = \frac{4 \cdot 6}{6 \cdot 25}$$

$$= \frac{32 \cdot 24}{48 \cdot 100} \quad \begin{matrix} \text{ruedas motrices} \\ \text{ruedas accionadas} \end{matrix}$$

La mesa tiene que girarse un ángulo igual al ángulo de posición B.

Cálculo del ángulo de posición β

$$\tan \beta = \frac{\text{Perímetro de la pieza}}{\text{Paso de hélice de la pieza}} = \frac{U}{P}$$

Continuación del ejemplo:

$$\tan \beta = \frac{U}{P} = \frac{200 \cdot 3{,}14}{1500} = \frac{628}{1500} = 0{,}418$$

AFILADO DE LAS FRESAS

Por el arranque de viruta acaban embotándose los filos de la fresa y con ello se reduce la limpieza y exactitud de la superficie mecanizada. Por lo tanto, hay que afilar la fresa a tiempo. Sólo se pueden conseguir los ángulos prescritos por medio de máquinas rectificadoras. Las fresas de dientes puntiagudos se afilan por su superficie destalonada. Las fresas de formas sólo se pueden afilar por su hombro para que se conserve la forma del filo y no cambie el perfil de la fresa.

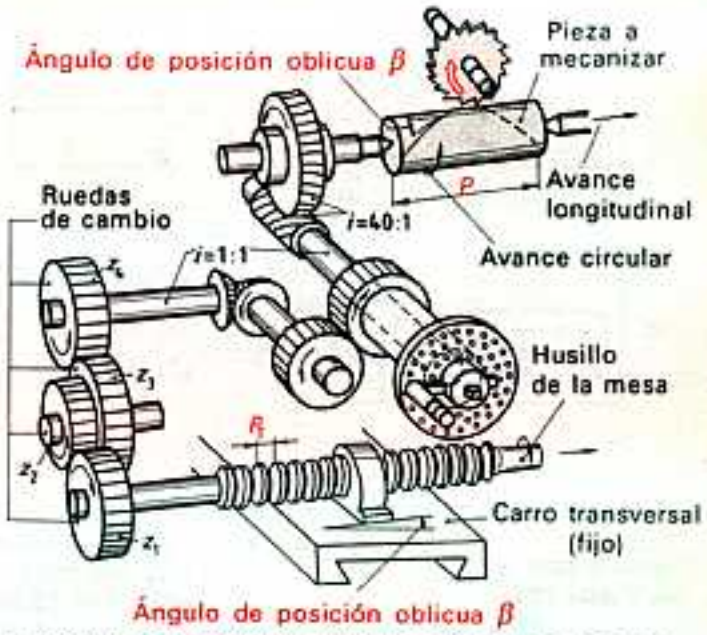


Figura 3-338. Fresado de ranuras helicoidales con el cabezal divisor universal.
El engranaje de avance de la fresadora acciona al husillo de la mesa. El movimiento de giro es transmitido desde el husillo de la mesa hasta la pieza a mecanizar a través de las ruedas de cambio, de los engranajes cónico y frontales, del disco de orificios, del perno de arrastre, de la manivela, del tornillo sin fin y de la rueda helicoidal. El cabezal divisor y la pieza se mueven en marcha oblicua al husillo de la fresa, a causa del girado de la mesa superior correspondiente al ángulo de paso.

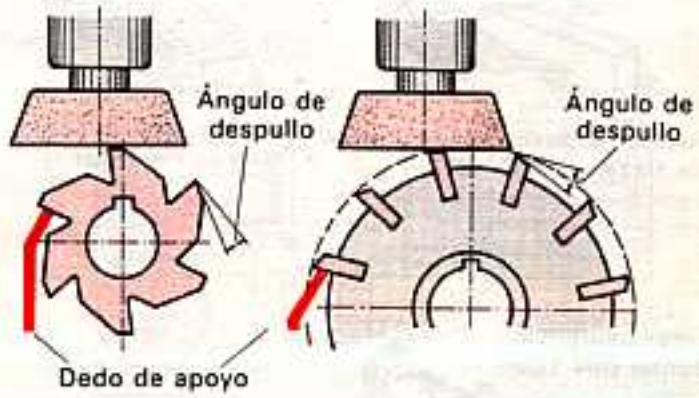


Figura 3-339. Afilado de los dientes de fresas cilíndricas y de las cuchillas de los cabezales de cuchillas.
La magnitud exacta del ángulo de despullo queda asegurada por el dedo de apoyo.

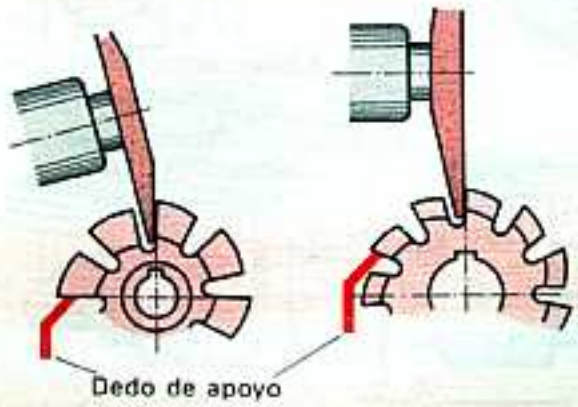
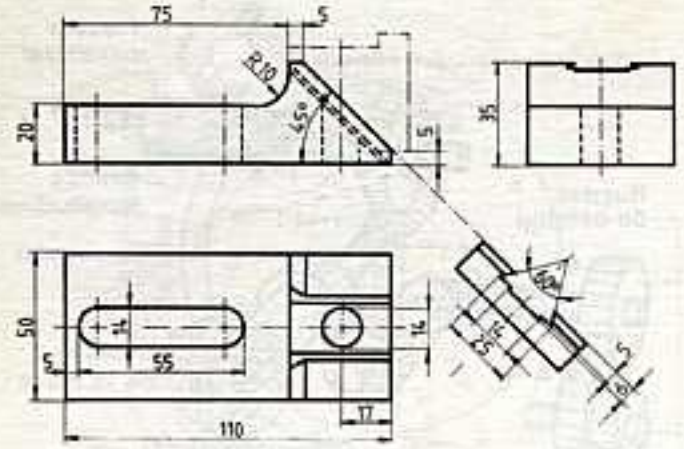
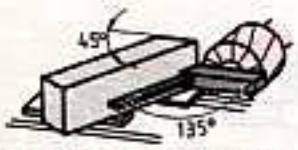


Figura 3-340. Afilado de una fresa destalonada (fresa de perfiles).



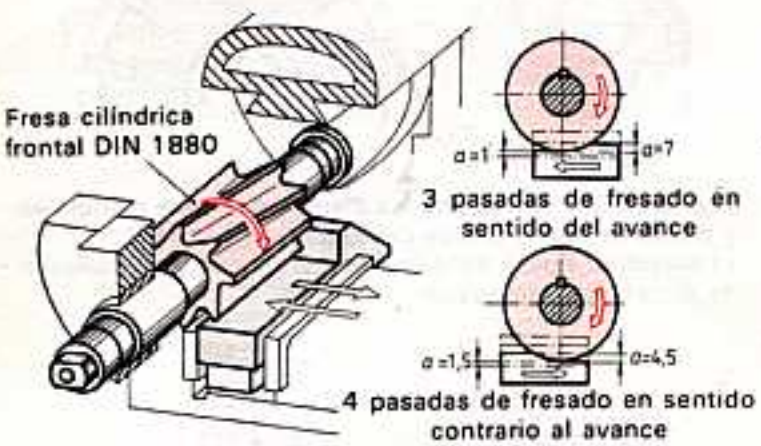


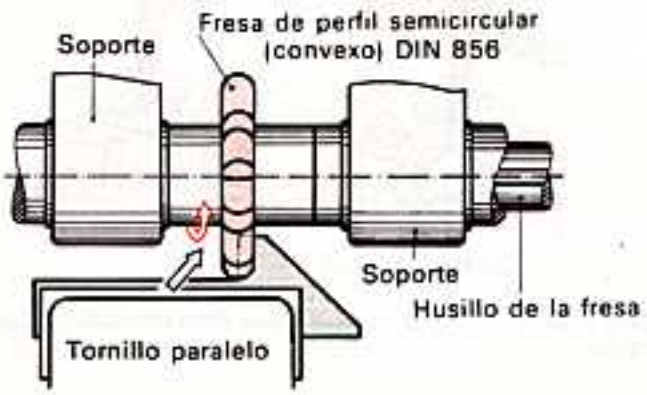


Ajuste de posición con ángulo de trazar de 135°-45°



Ajuste angular con ángulo de trazar





EJEMPLO DE TRABAJO

Hay que fresar la parte inferior de un cono de sujeción de acero St 37. La parte superior puede ser mecanizada a voluntad.

Valores de trabajo:
- v = velocidad de corte en m/min
- n = velocidad de giro en r.p.m.
- s_z = avance en mm/diente
- u = velocidad de avance en mm/min

Desarrollo del trabajo

1. Planear a medidas reales con una fresa cilíndrica frontal las superficies exteriores de la pieza en bruto (55 × 55 × 115)

El ajuste en paralelismo y angularidad de la pieza referente a la fresa se realiza con galgas y transportadores de ángulos estando la herramienta parada.

Fresa cilíndrica frontal DIN 1880, ∅ 60 × 30, 8 dientes

Valores de trabajo posibles	v	n	s_z	u
Pasada de desbaste a = 5 mm	20	112	0,15	120
Pasada de acabado a = 1 mm	25	125	0,15	150

La pieza a mecanizar se fija firmemente con uno o dos útiles de fijación. El apoyo lateral debe estar 1 a 2 mm más alto que la pieza a mecanizar para que el útil de fijación al flexar por la fuerza del tornillo, aprieta la pieza con seguridad.

2. Mecanizar la pieza de 35 mm a 20 mm de altura y 65 mm de anchura con la fresa cilíndrica frontal DIN 1880, ∅ 75 × 75, 10 dientes.

Valores de trabajo posibles	v	n	s_z	u
a) Fresado en sentido contrario al avance				
3 pasadas de desbaste a = 4,5 mm	16	17	0,15	100
1 pasada de acabado a = 1,5 mm	20	90	0,15	135
o bien				
b) Fresado en el sentido de avance (sólo con el dispositivo para ello)				
2 pasadas de desbaste a = 7 mm	20	90	0,15	135
1 pasada de acabado a = 1 mm	25	112	0,15	170

Valores pequeños de trabajo a causa de la gran anchura de la fresa.

Sujetar la fresa de forma que la fuerza axial esté dirigida hacia la máquina. Colocar los contrasoportes cerca de la fresa. Fijar la pieza a mecanizar en un tornillo paralelo robusto.

3. Mecanizado del redondeado con la fresa de perfil semicircular DIN 856, convexa, radio 10 mm, ∅ 90, 14 dientes.

Valores de trabajo posibles	v	n	s_z	u
2 pasadas a = 7,5 mm	16	56	0,07	50

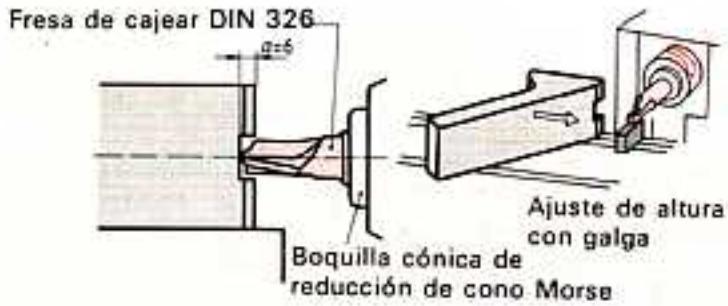
4. Ranurar con la fresa de cajear DIN 326

Fresa de cajear de mango cónico, ∅ 14.

Valores de trabajo posibles	v	n	s_z	u
1 pasada a = 6 mm	23	560	0.07	80

Se puede ajustar la fresa con un juego de galgas de 18 mm de altura al centro de la pieza subiendo cuidadosamente la mesa. Es aconsejable intercalar un papel fino entre la fresa y la galga, para saber en qué momento entran en contacto y evitar que se dañen.

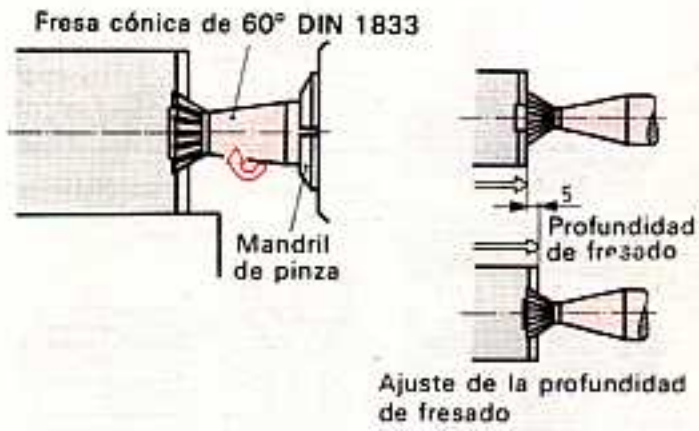
Ajustar la pieza a mecanizar con un transportador de ángulos de 45° en el sentido longitudinal de la mesa.



5. Fresar la ranura en cola de milano con la fresa cónica DIN 1833, 60°, 12 dientes.

Valores de trabajo posibles	v	n	s_z	u
1 pasada a = 5 mm	10	125	0.07	80

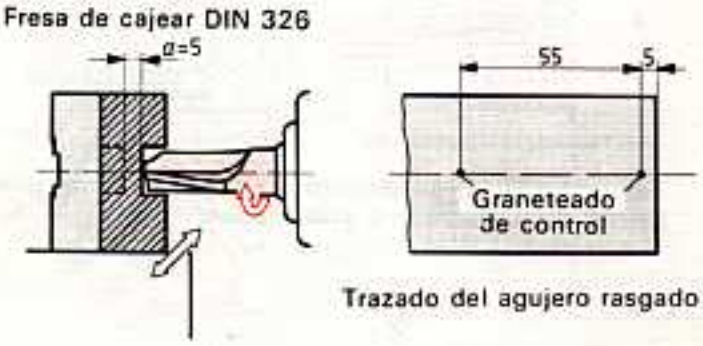
Con esta herramienta tan delicada hay que emplear una velocidad de corte y un avance pequeños. Se puede ajustar exactamente la profundidad del fresado del siguiente modo: acercar cuidadosamente (prueba del papel) la pieza a mecanizar a la fresa. Desplazar la pieza lateralmente y ajustar la profundidad de fresado con el husillo del carro transversal. Leer en el tambor graduado de éste la profundidad de fresado.



6. Fresar el agujero rasgado con la fresa de cajear DIN 263, ∅ 14

Valores de trabajo posibles	v	n	s_z	u
4 pasadas a = 5 mm	23	560	0.07	80

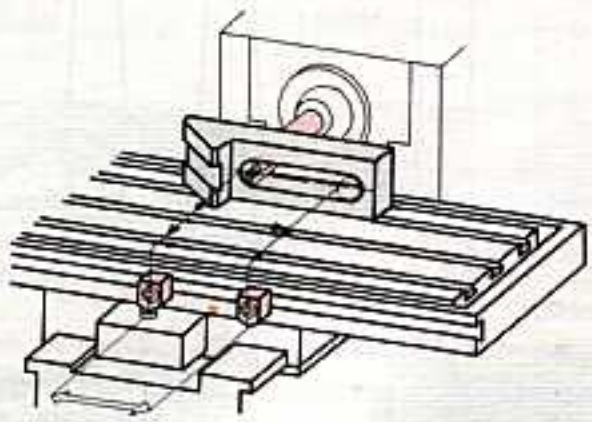
No variar el ajuste en altura de la mesa. Trazar la longitud de la ranura y marcarla con el granete de control. Colocar los útiles de fijación delante y detrás del agujero rasgado a fresar. Ajustar los topes de «parada» del avance de la mesa a base de pruebas sucesivas de forma que la fresa pare en su avance automático cuando alcanza la mitad de la marca graneteada de control. Después de cada pasada aproximar a mano la pieza a mecanizar hacia la fresa los a = 5 mm de la aproximación, y conectar de nuevo el avance.



Observación

Las velocidades de giro calculadas a partir de la velocidad de corte y del diámetro de la fresa elegidos, están redondeadas, por exceso o por defecto, en las tablas de velocidades normalizadas para máquinas herramienta. La velocidad de avance μ (mm/min) hay que calcularla con la velocidad de giro real disponible de la máquina.

Para la elección de la velocidad de corte v y de la del avance s_z se utilizan valores tabulados válidos tan sólo para su utilización en fresadoras de gran rendimiento. En máquinas menos potentes hay que reducir los valores de trabajo al 40% o 50%.


Ajuste de los topes de desconexión a 60 − 14 = 46 mm

3.6.4 Taladrado, avellanado, escariado

PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

Se entiende por taladrado el procedimiento de arranque de viruta con movimiento de corte circular y en el cual la herramienta sólo tiene movimiento de avance en la dirección del eje de giro. El taladrado comprende distintos procedimientos de mecanizado tales como avellanado y escariado.

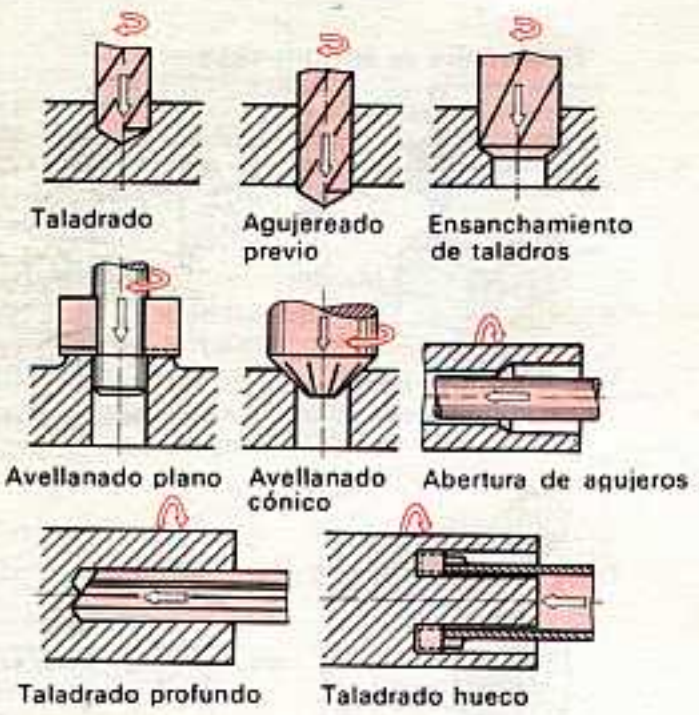


Figura 3-341. Procedimientos de trabajo comprendidos dentro del «taladrado y avellanado».

Procedimiento	Objeto del trabajo	Herramienta	Máquina herramienta
Taladrado	Agujeros en macizo	Broca espiral	Taladradora de montante Taladradora radial Taladradora de plantillas Taladradora de husillos múltiples Torno
Agujereado previo	Agujeros que posteriormente son agrandados, avellanados o alisados	Broca espiral	
Ensanchamiento de taladros	Agrandado (mejora de la superficie y de la posición del taladro) de agujeros previamente taladrados o provenientes de la fundición	Broca espiral Avellanador Avellanador hueco	
Avellanado plano	Mecanizado de superficies frontales de cubos y ojetes	Avellanador plano Avellanador de espiga	
Avellanado cónico	Avellanados para cabezas de tornillos, etc.	Avellanador de espiga Avellanador cónico	
Abertura de agujeros	Agrandado (mejora de la superficie y de la posición del taladro) de agujeros previamente taladrados o provenientes de la fundición	Barra de taladrar de una o dos caras Coronas de taladrar	Mandrinadora Taladradora de plantillas Tornos, fresadoras y taladradoras
Taladrado profundo	Taladros profundos en macizo	Broca larga Broca de cañón	Taladradora profunda
Taladrado hueco	Taladros profundos en macizo con grandes diámetros	Broca hueca	Taladradora profunda

HERRAMIENTAS PARA TALADRAR

Las herramientas para taladrar son de dos filos, de acero de herramientas, para mecanizar piezas macizas de material o para agrandar o mejorar orificios ya existentes.

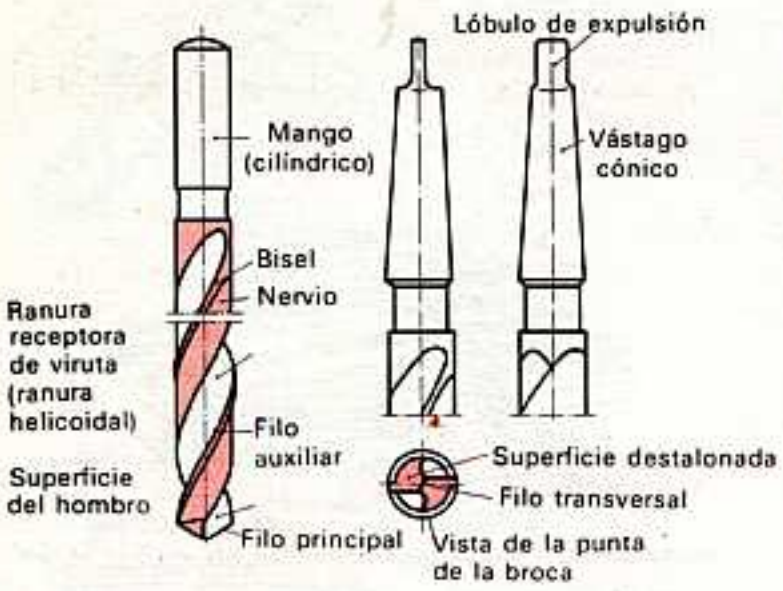


Figura 3-342. Designaciones de las partes de la broca.

Filos y ángulos de las brocas

Las brocas helicoidales tienen **dos ranuras receptoras de la viruta** de forma helicoidal. Permiten la salida de la viruta y la entrada del líquido de refrigeración y lubricación a la zona de corte.

Los **biseles** (resto de la periferia del cilindro original) guían la broca en el orificio que taladra. Son estrechos para reducir el rozamiento contra las paredes del orificio. Los bordes de los biseles constituyen los filos auxiliares de la broca. Las superficies de la ranura espiral receptora de la viruta y las superficies destalonadas constituyen los **filos principales.** Con un afilado correcto los filos principales son líneas rectas. Para conseguir esto las superficies destalonadas se afilan en forma curvilínea.

En la punta de la broca se forma el **filo transversal,** como intersección de las dos superficies destalonadas. Es la continuación del

filo principal pero produce un efecto de rascado, absorbiendo aproximadamente los 2/3 de la fuerza de avance. Con un ángulo de 55° la pérdida de potencia es mínima. La fuerza de avance puede reducirse aún más por adelgazamiento de la punta, pero en cambio se reduce su resistencia al desgaste.

El **ángulo de ataque de la herramienta** (γ) coincide con el ángulo de acanaladura y disminuye hacia el núcleo de la broca. Como en todos los filos de herramientas de arranque de viruta, se elige grande para trabajar materiales blandos y lo más pequeño posible para materiales duros.

Broca espiral tipo N $\gamma = 16°$ a $30°$
para materiales con desprendimiento normal de viruta

Acero y fundición de acero hasta 700 N/mm²	$\sigma = 118°$
Aleaciones de Cu desde CuZn 40, níquel, acero inoxidable	$\sigma = 140°$

Broca espiral tipo H $\gamma = 10°$ a $13°$
para materiales duros y frágiles

Aleaciones de Cu hasta CuZn 40	$\sigma = 118°$
Acero de alta resistencia	$\sigma = 140°$
Materiales prensados, roca	$\sigma = 80°$

Broca espiral tipo W $\gamma = 35°$ a $40°$
para materiales blandos

Aluminio, cobre	$\sigma = 140°$
Aleaciones de cinc	$\sigma = 118°$

El **ángulo de despullo** (α) se forma por el destalonado y va en aumento desde la periferia hasta el centro.

El filo en forma de cuña de la broca puede conocerse por medio de una prueba.

Prueba: Se hacen rodar sobre una hoja de papel de calco azul dos brocas, una para acero y otra para material prensado y quedan marcados los ángulos de filo, de ataque y de despullo.

El **ángulo de punta** (σ-sigma) está formado por los dos filos principales. Las magnitudes de los ángulos, dependientes del material a taladrar, están fijados empíricamente en la norma DIN 1414. Para materiales con gran resistencia al arranque de viruta y poca conductibilidad térmica (plásticos) hay que elegir la broca con un ángulo menor.

Cinco afilados especiales según DIN 1412:

A filo transversal adelgazado Poca fuerza de avance mejores condiciones de corte	Acero hasta 900 N/mm²
B como A, pero con filo principal corregido Como A, ángulo de filo aumentado para materiales duros	Acero de más de 900 N/mm², acero de muelles, acero al Mn, fundición dura, aleaciones de Mg
C afilado en cruz El filo transversal se transforma en dos filos auxiliares	Acero de más de 900 N/mm²
D afilado de doble cono Los sensibles extremos de los filos están rebajados	Fundición gris, fundición dura, fundición maleable
E punta central Buen centrado, no se forman rebabas al taladrar	Aleaciones de Al, cobre, cinc, estratificado de papel

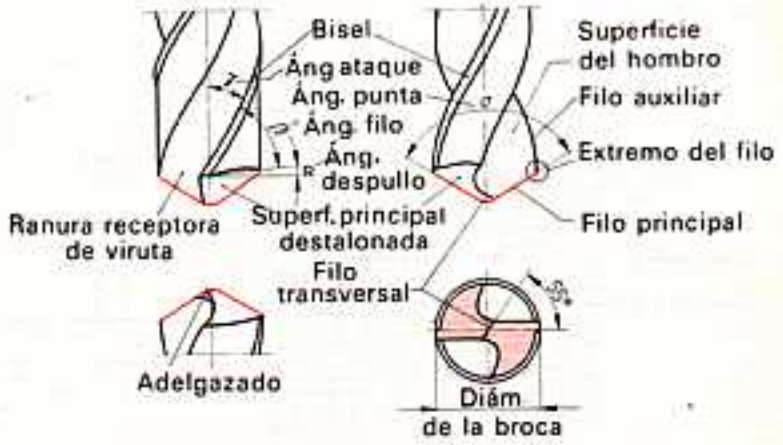


Figura 3-343. Filos y ángulos de la broca.

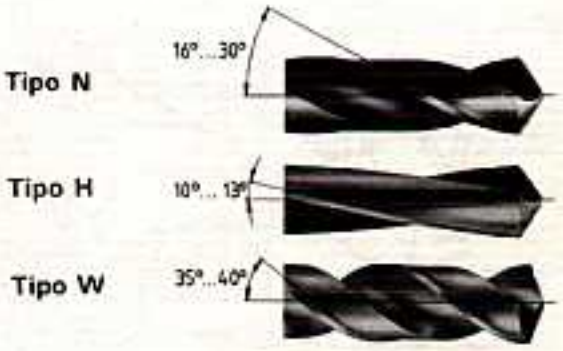
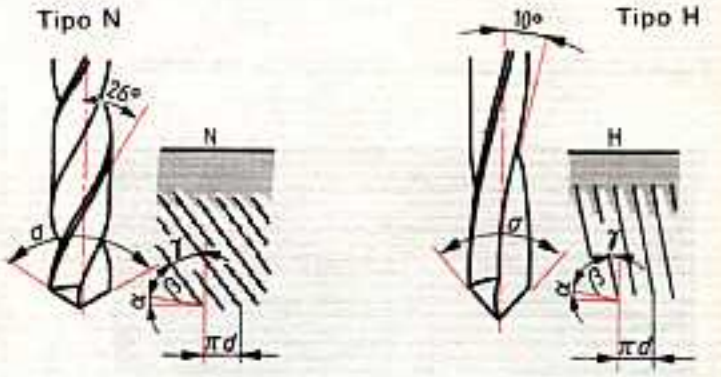


Figura 3-344. Las brocas se fabrican de tres tipos.





A Filo transversal

D Afilado de doble cono

B Filo transversal adelgazado con filos principales corregidos

E Punta central

C Afilado en cruz

Avellanador hueco

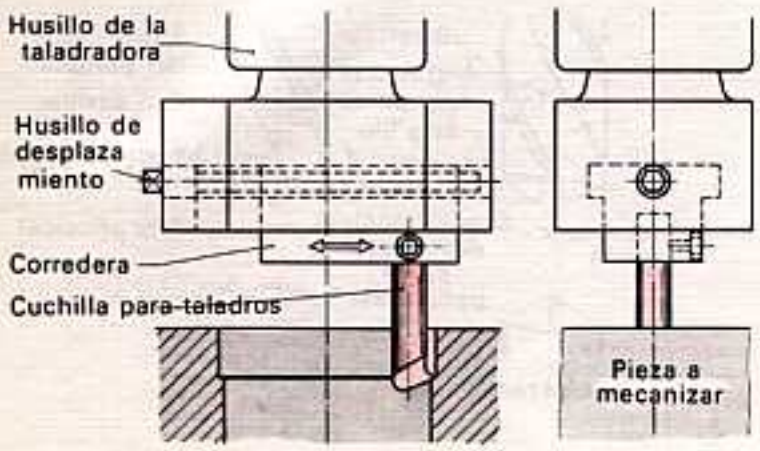


Figura 3-345. Portabrocas (mandril portabrocas).

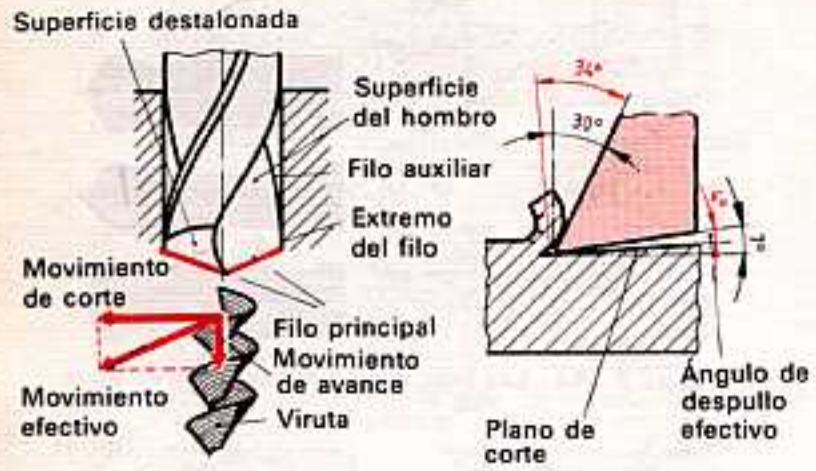


Figura 3-348. Proceso de arranque de viruta.

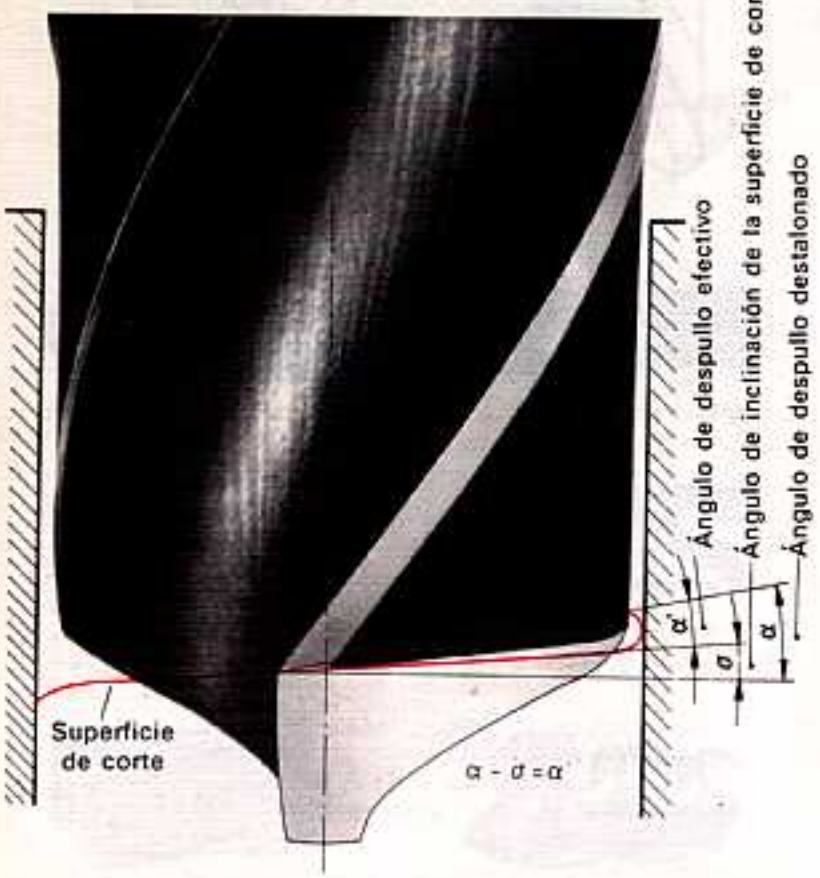


Figura 3-349. Formación del ángulo de despullo efectivo.

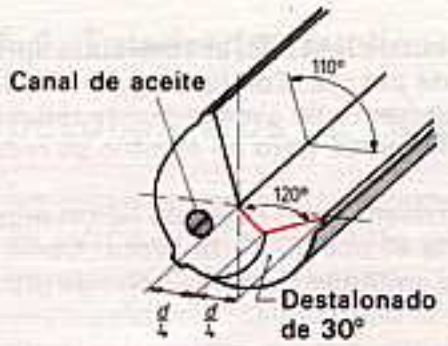


Figura 3-346. Broca de un solo filo.

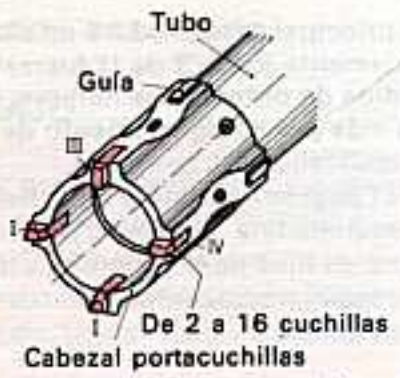


Figura 3-347. Broca hueca.

Avellanador hueco

Con el avellanador hueco, llamado también de cuatro filos, se avellanan orificios previamente taladrados o provenientes de la fundición o antes de ser escariados. Gracias a la forma del avellanador hueco, rígida y fuerte, se obtienen orificios rectos.

Portabrocas

Con el portabrocas se taladran los orificios cortos a su medida real. La herramienta de taladrar se ajusta radialmente a la magnitud del taladro. El portabrocas se emplea principalmente en la taladradora de coordenadas. Con una velocidad de corte alta, un avance pequeño y cojinetes del husillo de alta calidad, se pueden mecanizar orificios con gran precisión y buen acabado superficial.

Broca de un solo filo para taladrado profundo

Se taladran con ellas orificios profundos (de hasta ∅ 80). Trabajan sobre macizo y tienen dos filos comprendidos dentro de un ángulo de 120°. La punta de los filos debe estar perfectamente centrada para que no se desplace la broca. Los tres biseles dan a la broca un buen guiado a lo largo de toda su longitud. El líquido de refrigeración y lubricación es introducido a presión hasta la zona de corte a través de un canal.

Broca hueca

Consta de un tubo y un cabezal portabrocas. En la parte frontal del cabezal van montadas, dependiendo del diámetro, de 2 a 16 cuchillas. Para reducir la carga sobre las cuchillas sus filos son de diferentes anchuras de forma que cada cuchilla sólo arranca una parte del ancho total del corte. Un fuerte chorro de líquido de refrigeración y lubricación expulsa las virutas.

PROCESO DE ARRANQUE DE VIRUTA

En el taladrado la broca actúa como una herramienta de múltiples filos. Como el filo transversal también actúa en la dirección del avance, la broca tiene tres filos principales. Según DIN 6581 se distinguen incluso dos filos auxiliares y dos extremos de filo.

Mediante el avance de la broca en la dirección de su eje se introducen los filos principales en el material y arrancan viruta. Se distingue entre **movimiento de corte** y **movimiento de avance**. Como diagonal de ambos movimientos, en el paralelogramo de movimientos, aparece el **movimiento efectivo** de la broca.

El plano de corte queda en la dirección del movimiento efectivo. Como consecuencia de esto varían en el taladrado los ángulos efectivos de ataque y de despullo. Como puede deducirse de la figura, el ángulo de ataque aumenta. El ángulo de despullo efectivo es menor que el ángulo de destalonamiento.

Cuando se trabaja con materiales blandos y grandes diámetros de broca con avances rápidos, la broca debe tener un ángulo de despullo grande (aproximadamente 7°) para que el efectivo α' resulte lo suficientemente grande.

ECONOMÍA AL TALADRAR

La velocidad de corte y el avance determinan el rendimiento de la broca.

Velocidad de corte y avance

Como base de la economía se requiere un alto rendimiento de mecanizado. Se entiende por rendimiento de mecanizado el volumen de viruta arrancado de la pieza a mecanizar en un minuto.

La velocidad de corte *v*, expresada en m/min., es el trayecto en metros recorrido por el bisel de la broca en un minuto.

El avance *s*, expresado en mm, es la medida de la penetración de la broca en el material de la pieza en una vuelta.

Un aumento de la velocidad de corte significa, para una broca determinada, un aumento de la velocidad de giro *n* (en r.p.m.) y con ello un aumento de la profundidad de penetración en cada período de tiempo y como consecuencia del rendimiento de mecanizado.

Con un aumento de la fuerza de avance aumenta éste y con ello igualmente la profundidad de penetración y el rendimiento del mecanizado.

Una velocidad de corte y una fuerza de avance mayores suponen un calentamiento y un desgaste del filo de la herramienta también mayores. La velocidad de corte más económica depende del material de la pieza, de la refrigeración y de la duración de la broca bajo condiciones de corte en caliente.

Valores orientativos de la velocidad de corte *v* y del avance *s* para brocas de acero rápido

Material	Acero hasta St 60	Fundición gris	Cobre	Metales ligeros
v en m/min	30...40	12...30	30...60	100...150
s en mm	0,1...0,4	0,1...0,6	0,1...0,6	0,1...0,6

Para brocas de acero de herramientas *v* se reduce a la mitad de estos valores y para brocas con filos de metal duro aumentan cuatro o cinco veces. Los avances permanecen aproximadamente iguales.

La velocidad de giro, el diámetro de la broca y la velocidad de corte están relacionados entre sí:

El recorrido periférico del filo de la broca en una revolución $s_1 = d \cdot \pi$. El recorrido periférico del filo de la broca en *n* revoluciones $s = d \cdot \pi \cdot n$. La velocidad de giro de la broca se expresa en revoluciones por minuto, de forma que la fórmula de velocidad de corte resulta:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1}; \quad \boxed{v = d \cdot \pi \cdot n} \quad v \text{ en } \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

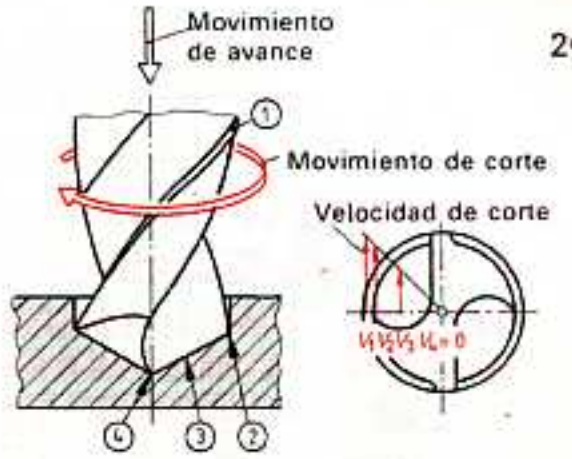


Figura 3-350. Velocidad de corte.

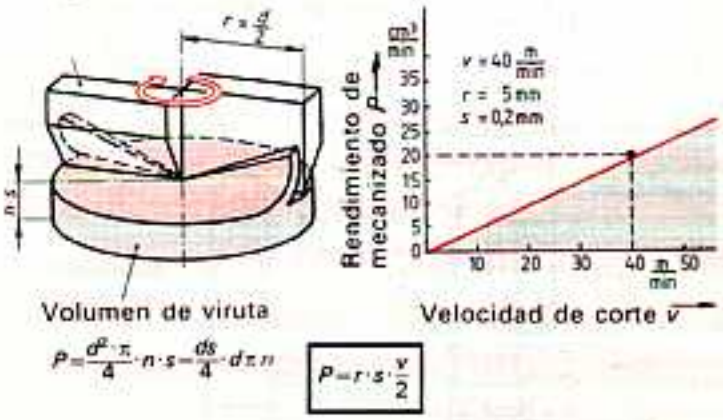
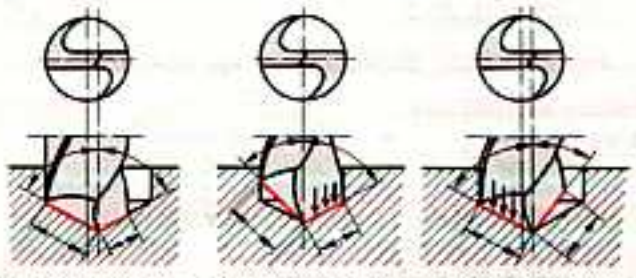


Figura 3-351. Rendimiento de mecanizado.



Longitudes desiguales de los filos, filo transversal fuera del eje de la broca.

Consecuencias:
1. Esfuerzo desigual
2. Broca desviada
3. Orificio taladrado demasiado grande

Filos con ángulos distintos al eje de la broca.

Consecuencias:
1. Distinta longitud de los filos
2. Mayor carga sobre un filo
3. Broca desviada
4. Orificio taladrado demasiado grande

Filos con ángulos distintos al eje de la broca, filo transversal fuera del eje de la broca.

Consecuencias:
1. Mayor carga sobre un filo
2. Broca desviada
3. Orificio taladrado demasiado grande

Figura 3-352. Consecuencias del afilado incorrecto.

Comprobación del ángulo de la punta y simetría

Comprobación del ángulo del filo transversal

Comprobación del ángulo del filo

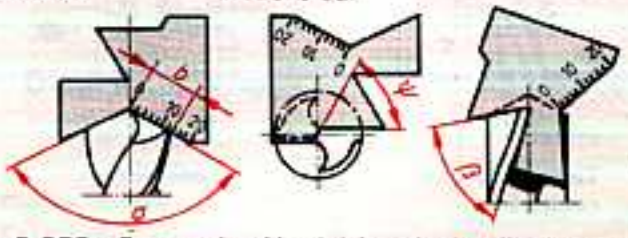


Figura 3-353. Comprobación del ángulo de afilado con la plantilla.

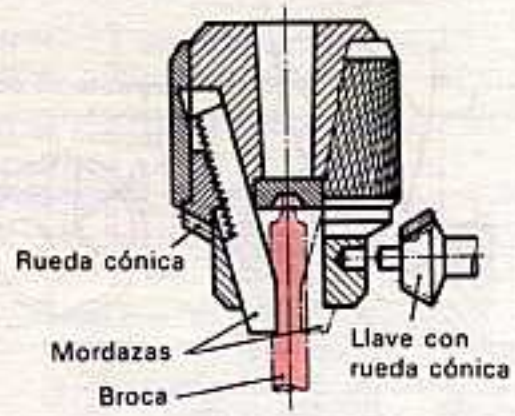


Figura 3-354. Mandril de tres mordazas.

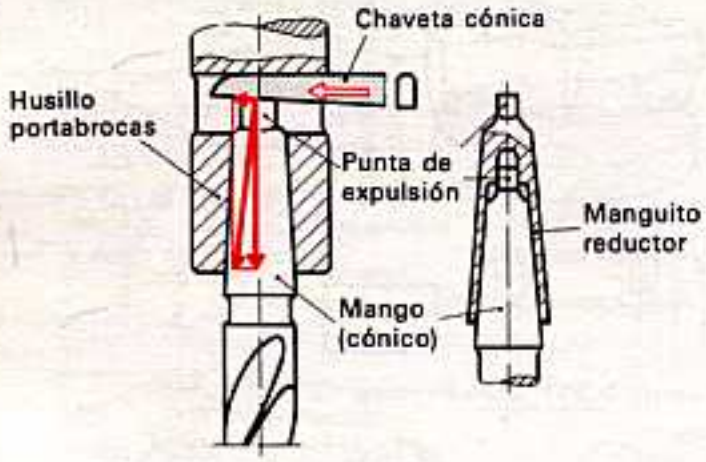


Figura 3-355. Sujeción con eje cónico.

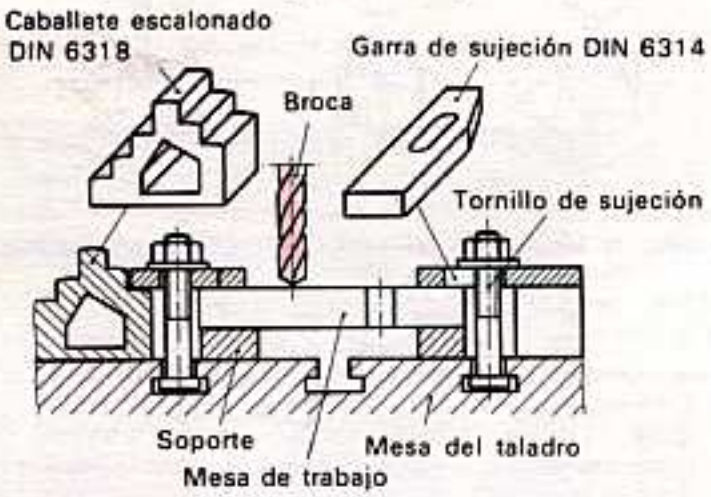


Figura 3-356. Sujeción a la mesa del taladro.

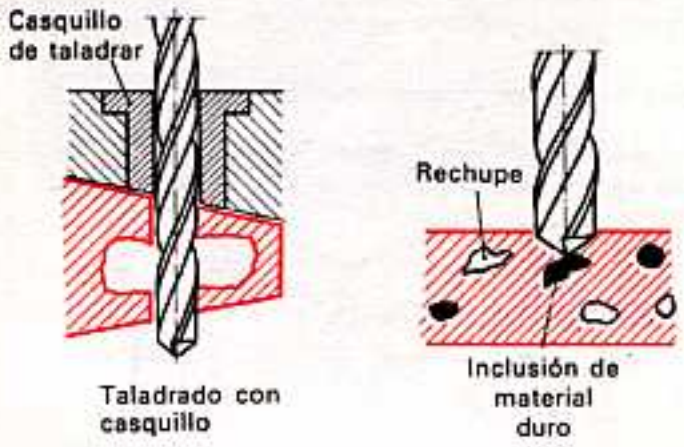


Figura 3-357. Esfuerzo aumentado en la broca.

Ejemplo:

Datos: $v = 24$ m/min., $d = 10$ mm $= 0{,}01$ m. Calcular n.

$$v = d \cdot \pi \cdot n; \quad n = \frac{v}{d \cdot \pi}; \quad n = \frac{24 \text{ m/min}}{0{,}01 \text{ m} \cdot 3{,}14} = 765 \frac{1}{\text{min}}$$

TRABAJOS DE TALADRADO

Sujeción de la broca

El mandril con mordazas de sujeción se fija al husillo del taladro. El mango cilíndrico de las brocas pequeñas se sujeta con un mandril de tres mordazas, o con un mandril de cambio rápido en máquinas funcionando y cuando hay cambios frecuentes de broca. Para brocas pequeñas se utilizan además casquillos suplementarios. Las brocas grandes se encajan por su mango cónico en el husillo del taladro y se quitan con una chaveta cónica.

Sujeción de la pieza a mecanizar

Las piezas a mecanizar deben sujetarse para que no las arrastre el giro de la broca. En el taladrado de orificios pasantes los filos principales de la broca se agarran al final del recorrido en el material de forma que aparecen grandes esfuerzos giratorios sobre la pieza que se perfora.

Las piezas largas se colocan sobre una base de madera o de acero y se sujetan a mano. Las piezas cortas se aseguran bien en un tornillo portapieza, o con entenallas o dispositivos de taladrado. Las piezas cilíndricas se sujetan firmemente en prismas de taladrar.

Defectos del taladrado y causas de la rotura de la broca

Pieza a mecanizar: Graneteado defectuoso, de forma que la punta de la broca no tiene guía. Sujeción floja de forma que la broca se engancha.

Herramienta: La broca chirría por tener gastados los biseles de guiado. El husillo del taladro tiene excesivo juego axial. Elección incorrecta del tipo de broca. Afilado incorrecto de la broca. Las brocas afiladas defectuosamente se embotan pronto y producen orificios inexactos.

Taladrado: Se calienta la broca por haberse elegido una fuerza de avance y una velocidad de corte excesivas. El taladro es más profundo que las ranuras de la broca helicoidal. El taladrado de piezas inclinadas sin uso de casquillos de taladrado. Variación de la fuerza de corte como consecuencia de rechupes e inclusiones de escoria no visibles. Insuficiente refrigeración y lubricación.

La refrigeración disminuye la temperatura del filo y la lubricación el rozamiento entre la broca y la pieza que se trabaja. Los líquidos de refrigeración y lubricación son emulsiones. Son imprescindibles para taladrar acero, aluminio y aleaciones de Cu y Zn. Se taladran en seco las aleaciones de Mg, las fundiciones de hierro, el caucho endurecido y los plásticos.

Como líquidos de refrigeración y lubricación se utilizan agua jabonosa o emulsiones de taladrado.

Taladrado sin casquillos de taladrar: Resbalamiento de la broca sobre superficies inclinadas y guiado inestable en el taladrado con interrupciones.

Taladrado de piezas de fundición: El filo se engancha en los espacios huecos (rechupes), el esfuerzo de corte aumenta en las capas de colada duras y en las inclusiones de materiales duros.

AVELLANADO

El avellanado es un taladrado con una herramienta de dos o más filos llamada avellanador.

Se emplea para desbarbar orificios con cantos vivos, avellanado de perfiles (figura 3-358), para ensanchar (abertura de taladros) orificios provenientes de fundición o previamente taladrados y dejarlos a medida real (figura 3-359), para el avellanado profundo de rebajes cilíndricos (figura 3-360) y para el avellanado plano de superficies planas (figura 3-361).

Elección del avellanador

Hay diferentes modelos.

Los **avellanadores cónicos** se fabrican con diámetros de 8 a 80 mm. Con ángulo de punta de 60° se emplean para desbarbar, de 75° para alojar las cabezas de los roblones, de 90° para alojar las cabezas cónicas de tornillos y de 120° para recalcar cabezas de roblones.

Los filos de cuña se afilan sin ángulo de ataque. Empleando de 10 a 12 filos en la periferia se evita el enganche y las vibraciones en el orificio.

Los **avellanadores helicoidales** se emplean para ensanchar (mecanizar) taladros. Por su forma son similares a las brocas helicoidales pero tienen tres o cuatro ranuras de recogida de viruta en lugar de dos. El guiado en el orificio del taladro es mejor que el de la broca helicoidal. El orificio queda liso.

Hay avellanadores helicoidales de **plena medida** para avellanados a su medida efectiva y **de medida menor** para escariado ulterior.

Los **avellanadores** planos se emplean para el avellanado plano de superficies salientes y no lisas de piezas de fundición. Producen superficies planas para el asiento de cabezas de tornillo y tuercas.

Los **avellanadores de espiga,** con espiga de guiado fija o recambiable, se emplean para el avellanado profundo de superficies planas y para el asiento de cabezas de tornillos cilíndricos.

Mediante las espigas de guiado se consigue que el avellanado quede perfectamente centrado en el orificio.

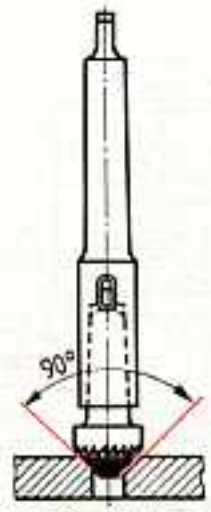


Figura 3-358. Avellanador cónico (avellanado de perfiles).

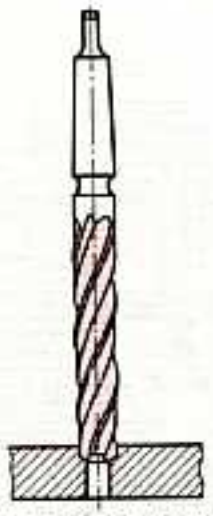


Figura 3-359. Avellanador helicoidal (ensanchamiento de orificios).



Figura 3-360. Avellanador de espiga (avellanado plano profundo).



Figura 3-361. Avellanador plano (avellanado plano)

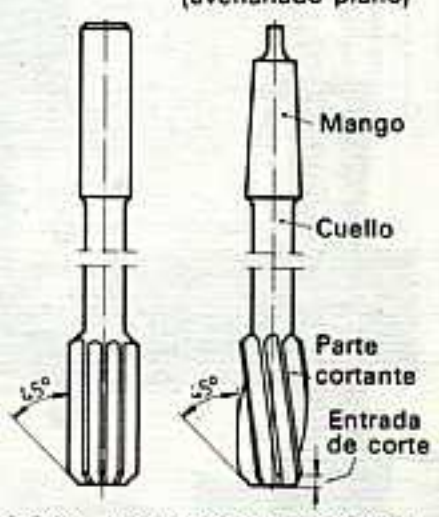


Figura 3-362. Escariadores mecánicos.

ESCARIADO

El escariado con escariadores mecánicos sirve para mecanizar orificios cilíndricos. Con el escariado se consigue un mejor acabado de la superficie y un diámetro exacto. Por regla general corresponde a la clase de tolerancia H7.

Los **escariadores mecánicos** se diferencian de los manuales por:

1. mango cilíndrico o cónico
2. parte cortante pequeña y mayor longitud de cuello y
3. entrada pequeña.

La parte cortante y la entrada pueden ser pequeñas porque el escariador va bien guiado a lo largo del husillo del taladro. Para ahorrar los caros aceros de herramienta se ha desarrollado el **escariador sin vástago** con su **elemento portador** para grandes diámetros de escariado (18 hasta 100 mm).

Todos los escariadores se fabrican con ranurado recto o helicoidal, así como con mango cilíndrico o cónico.



Figura 3-363. Escariador sin mango.



Portaescariador (dibujado a pequeña escala)

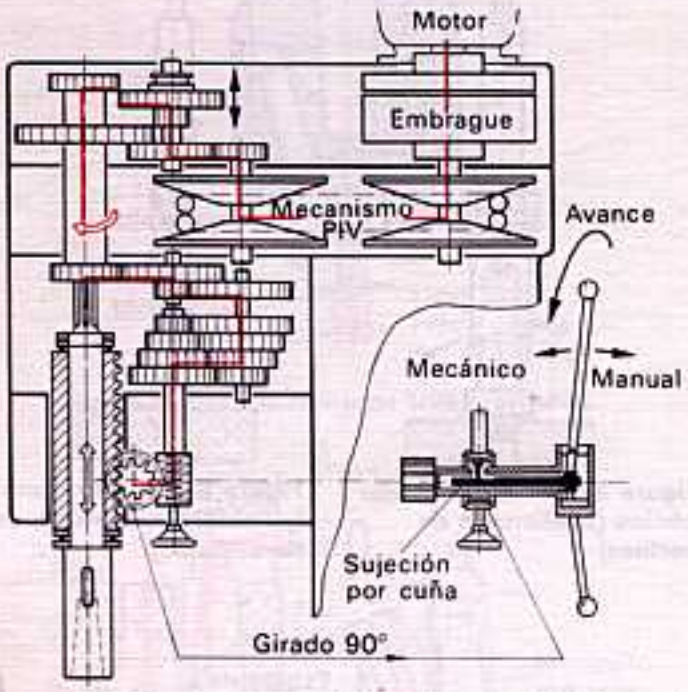


Figura 3-364. Caja de cambios de una taladradora de columna.

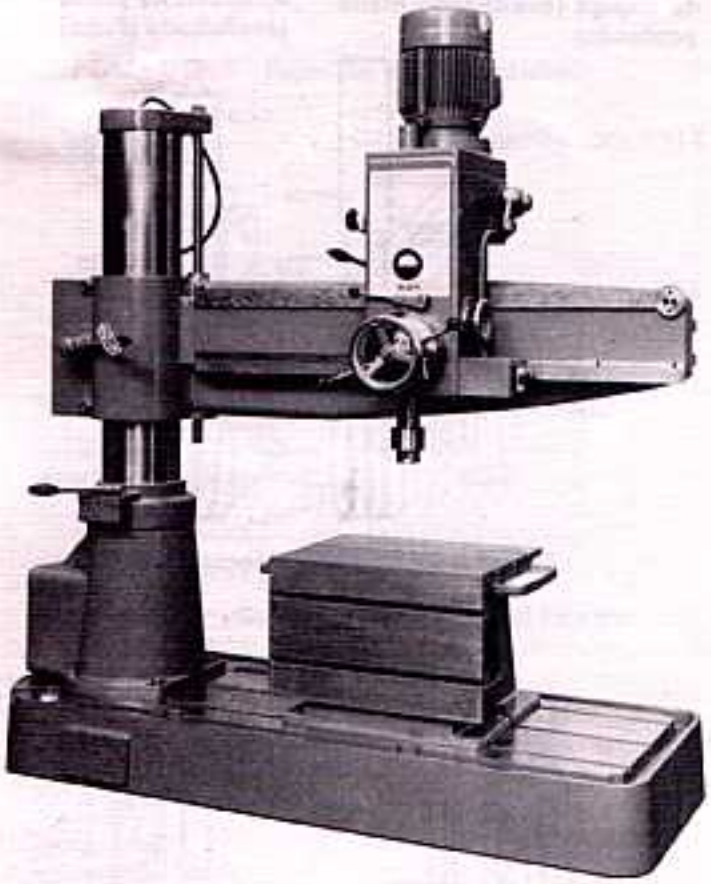


Figura 3-365. Taladradora radial.

TALADRADORAS

Taladradora de columna

Consta de pie, columna, mesa y cabezal con husillo. El husillo realiza un movimiento circular de giro como movimiento principal y un movimiento rectilíneo y axial como movimiento de avance. La posición del husillo no es variable, de forma que la pieza a mecanizar debe ser movida por debajo de la herramienta. Con estas máquinas se puede taladrar, avellanar y escariar, así como roscar si están preparadas para ello. Según el tamaño de la máquina se pueden hacer taladros hasta 30, 50, 80 y 100 mm de diámetro.

Taladradora de husillos en línea

Está constituida por una mesa rectangular con dos hasta cuatro cabezales con su husillo correspondiente. Se emplea para pequeñas series de piezas con diferentes procesos de trabajo; por ejemplo, en el primer husillo está instalada una broca helicoidal, en el segundo una de tres filos y en el tercero una avellanadora. La pieza pasa sucesivamente de husillo en husillo y en cada uno de ellos recibe el mecanizado correspondiente.

Taladradora de husillos múltiples

El husillo situado en el cabezal transmite el movimiento de giro por medio de ruedas dentadas a numerosos husillos articulados (hasta 32). Cada uno de estos husillos articulados puede llevar una herramienta, de forma que pueden mecanizarse al mismo tiempo varios taladros, con lo que se reduce esencialmente el tiempo de producción, por ejemplo, el mecanizado de cajas de engranajes, bloques de motores, etc.

Obtención del movimiento de corte. El motor eléctrico acciona, a través de un embrague de seguridad que se desconecta por sobrecarga, el mecanismo PIV. Con ello se puede variar sin discontinuidades la velocidad de giro. El husillo de taladrado recibe el movimiento de giro a través de un engranaje de ruedas corredizas.

Obtención del movimiento de avance. Este movimiento se recibe siempre del husillo de taladrado. Por eso se puede indicar la magnitud del avance en mm/revolución. Un mecanismo de chaveta móvil multiplica o reduce el número de giro. El eje y el piñón del avance son accionados a través de un juego de ruedas helicoidales. El piñón engrana en el dentado del casquillo del husillo y lo mueve con el mismo hacia abajo. Una vez soltado el enclavamiento entre rueda helicoidal y eje del avance puede accionarse el avance a mano.

Taladradora radial

Se emplea para el mecanizado de grandes piezas que no pueden moverse sobre la mesa y colocarse debajo de la herramienta. La construcción especial de la máquina permite colocar el husillo con su herramienta sobre el punto de trabajo. Para que se pueda realizar el mayor número posible de trabajos distintos, con la pieza una vez sujeta al pie de la máquina, el husillo de taladrar ejecuta hasta 24 velocidades de giro, por ejemplo desde 20 hasta 2 000 r.p.m., y otros tantos avances, desde 0,05 hasta 2 mm.

TALADRADORA DE COORDENADAS

Se utilizan principalmente en talleres de utilaje para el taladrado y mecanizado de orificios de plantillas, útiles, ins-

trumentos de medición y otras piezas de precisión y también para trabajos de medición y de trazado.

Sus características particulares son:

1. Construcción especialmente rígida para alcanzar alta precisión, también con carga máxima de la máquina.
2. Exactitud particularmente grande de todas las guías y cojinetes.
3. Velocidades de giro del husillo altas. Según el tamaño de la máquina, 3 000 r.p.m. o más para el taladrado de precisión.
4. Avances pequeños (0,02 mm) para el taladrado de precisión.
5. Mesa móvil según dos ejes perpendiculares (desplazamiento longitudinal y transversal), y lectura de los desplazamientos en ambas direcciones con exactitud hasta 1 μm.

Sistema de coordenadas

Desde un origen de coordenadas se puede determinar exactamente cualquier punto mediante una abscisa y una ordenada.

Ejemplo:

Abscisa = Desplazamiento longitudinal de la mesa 37,650 mm.
Ordenada = Desplazamiento transversal de la mesa 27,500 mm.

De esta manera se puede localizar y fijar cualquier punto de la pieza a mecanizar por sus coordenadas.

La acotación en el plano de la pieza a mecanizar se hace también en un sistema de coordenadas. Para la medición de los desplazamientos de la mesa los fabricantes han desarrollado diferentes sistemas de medición. En la máquina de la figura 3-367 se ha empleado el principio del micrómetro; en otras máquinas van incorporadas dos reglas graduadas, estancas al aire y al polvo, con escalas de precisión que se ven y leen con dispositivos ópticos (lentes de aumento). Hay que tener en cuenta que la longitud leída no siempre coincide, con la exactitud de 1 μm, con el desplazamiento real de la mesa. Las variaciones de temperatura de la máquina, las resistencias por rozamientos de las guías de deslizamiento, etc., causan una desviación adicional, por lo que se puede contar con un error en la exactitud de la posición (exactitud de la situación de la pieza a mecanizar debajo del husillo de trabajo) de 3 μm.

Fijación del origen de coordenadas

Para poder emplear el sistema de coordenadas hay que colocar el origen de coordenadas de la pieza a mecanizar exactamente debajo del eje del husillo de trabajo. Si se representa el punto origen de coordenadas con dos líneas trazadas sobre la pieza a mecanizar, o con un punto graneteado o con un pequeño taladro (hasta 5 mm de diámetro), el eje del husillo de trabajo se fija con un microscopio.

MANDRINADORA FRESADORA HORIZONTAL

La mandrinadora fresadora horizontal es una máquina de usos múltiples para la mecanización de pequeños números de piezas y para la producción «pieza a pieza».

En estas máquinas se mecanizan principalmente grandes carcasas de cajas de engranajes y estructuras de máquinas. La pieza se puede mecanizar en todas sus caras verticales mediante el giro de la mesa.

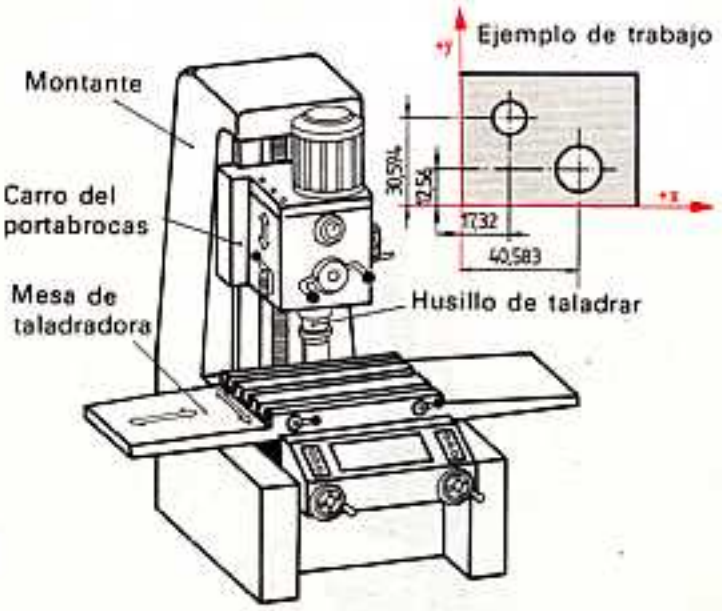


Figura 3-366. Taladradora de coordenadas.

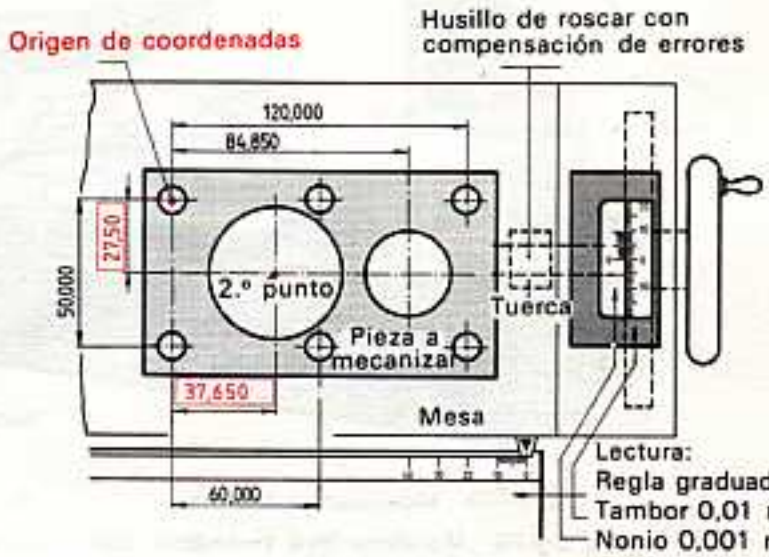


Figura 3-367. Sistema de coordenadas según el principio del micrómetro (desplazamiento longitudinal).





Figura 3-368. Microscopio para la fijación del origen de coordenadas (izda.).
Figura 3-369. Palpador de bordes HD (dcha.).
Con él se puede ajustar exactamente al borde de una pieza y emplearlo como borde de referencia para mediciones posteriores.

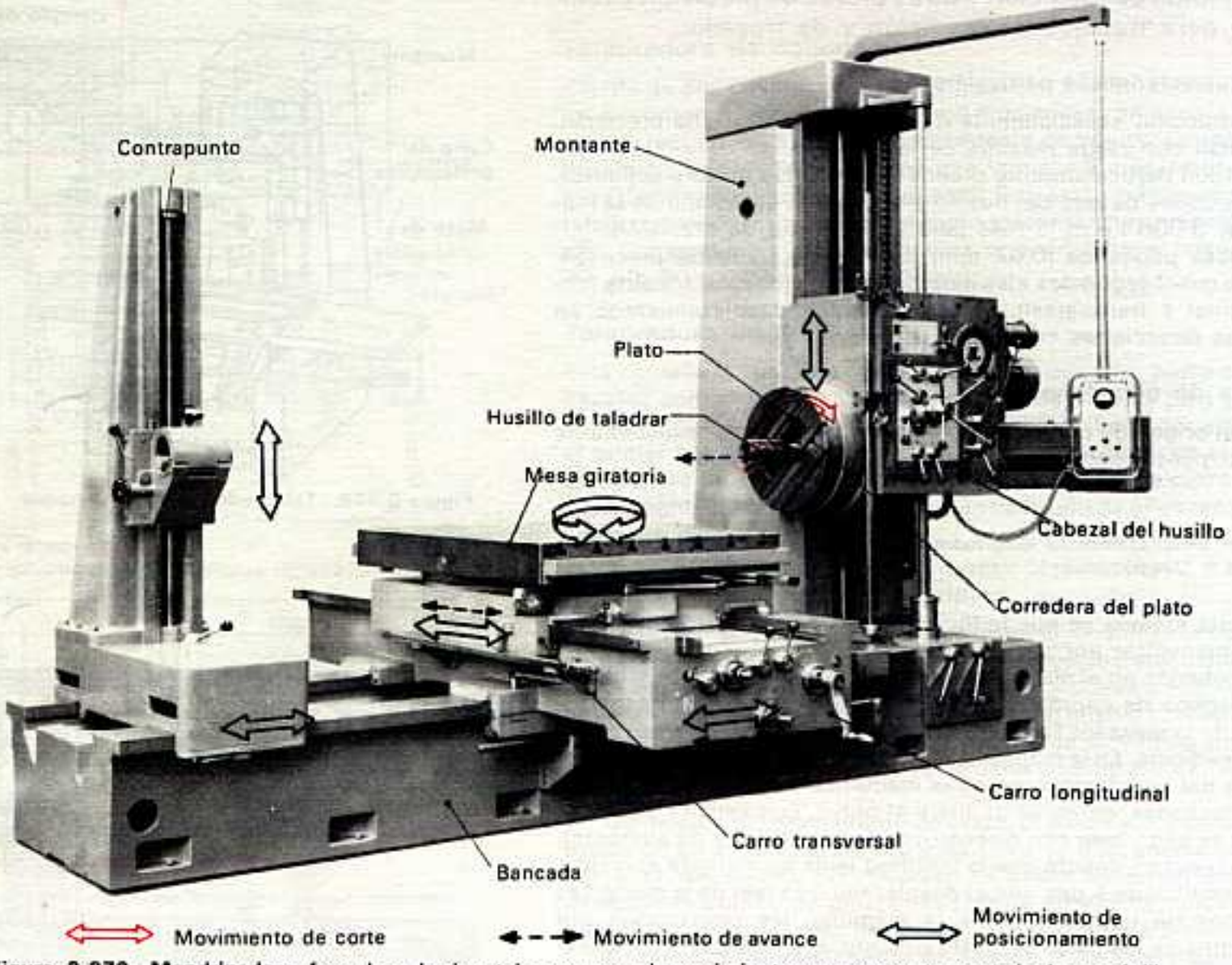


Figura 3-370. Mandrinadora fresadora horizontal con mesa de movimiento en cruz y contrapunto (cabeza móvil).

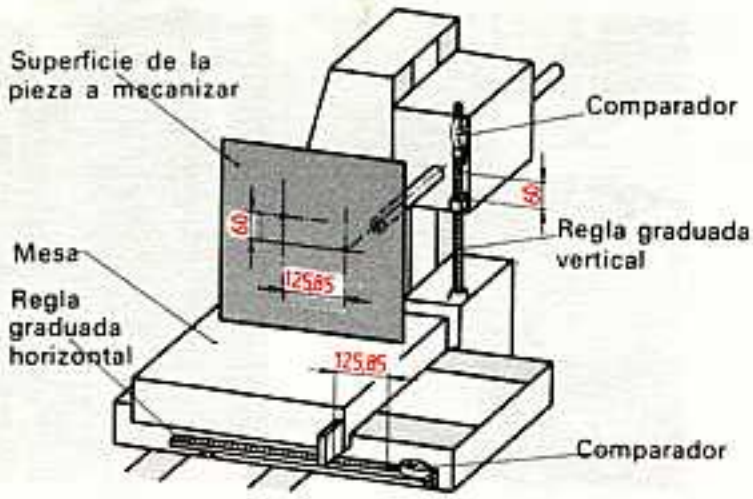


Figura 3-371. Ajustar el husillo de taladrar sobre el punto de taladrado.

Con esta finalidad la máquina puede realizar un gran número de movimientos. Para alcanzar el punto de taladrado se puede ajustar en altura el cabezal y en posición transversal la mesa. Los desplazamientos (distancias del punto de taladrado en dirección horizontal o vertical) se leen en escalas graduadas provistas de nonio de 1/10 mm.

Para una limitación más precisa de los desplazamientos pueden ponerse en las escalas graduadas galgas paralelas o comparadores. Las máquinas modernas tienen escalas graduadas de precisión con aparatos ópticos de lectura que permiten una precisión de lectura de 1/100 mm. Con este sistema de coordenadas sobra en muchos casos el trazado de la pieza a mecanizar.

EJEMPLO DE TRABAJO

La pieza a mecanizar, por ejemplo la carcasa de una caja de engranajes, se coloca por medio de la mesa giratoria en las posiciones de mecanizado I a IV, girando alrededor de su eje vertical. En cada posición se mecaniza una cara de la pieza.

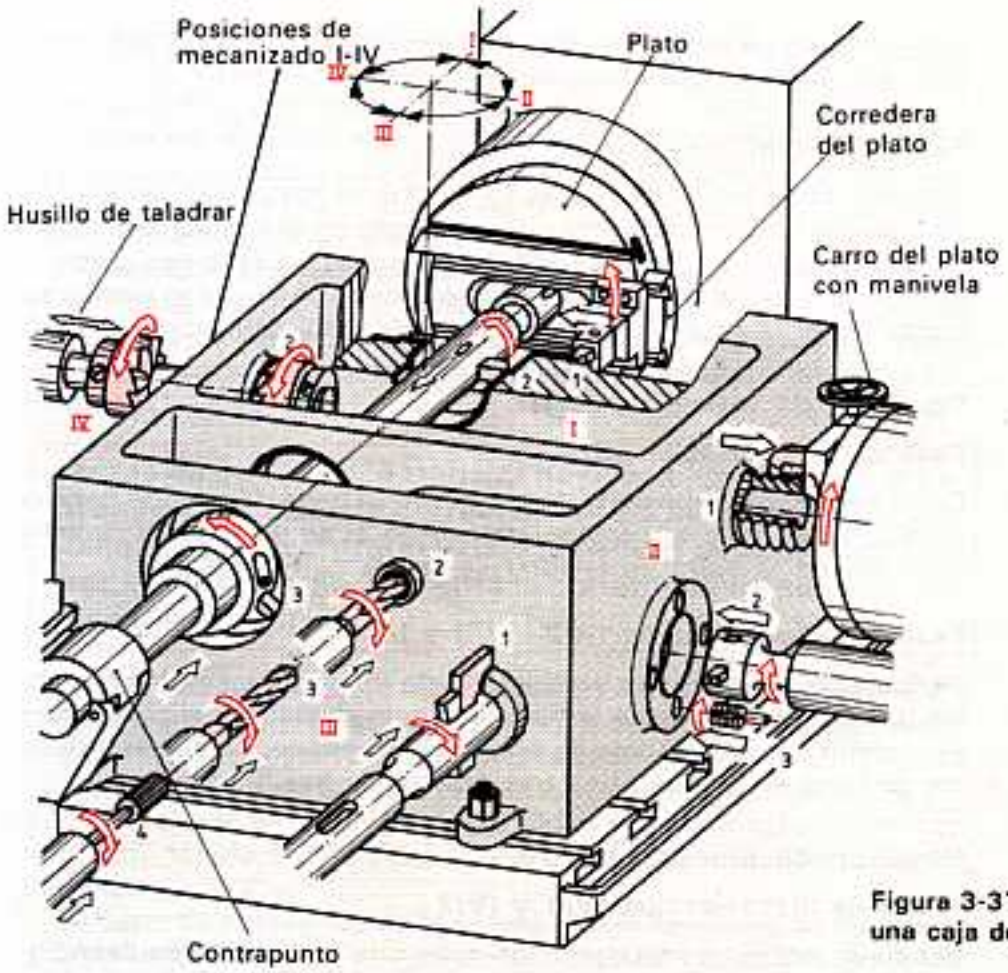


Figura 3-372. Ejemplo de mecanizado de la carcasa de una caja de engranajes.

Posición de mecanizado I:

Fase de mecanización I/1

Mecanizado de una superficie saliente. La herramienta se sujeta con un portaherramientas a la corredera del plato. Mientras el plato gira la corredera se mueve automáticamente hacia el centro con la velocidad de avance establecida.

Fase de mecanización I/2

Abertura de un orificio con barra de taladrar y cuchilla. La barra se fija al husillo de taladrar y recibe de él el movimiento de giro y el movimiento de avance axial. La barra de taladrar está guiada por el cojinete del contrapunto.

Fase de mecanización I/3

Mecanizado de un orificio grande. Para el gran diámetro del orificio se utiliza una cuchilla para taladrar. El portabrocas que la sostiene se encuentra fijado a la barra de taladrar. Los movimientos son como en 2.

Posición de mecanizado II:

Fase de mecanización II/1

Tallado de una rosca exterior. Se sujeta al plato, que es el que realiza el movimiento de giro, un carro del plato en el que se monta la herramienta con forma de gancho. Se consigue la aproximación para la profundidad de la rosca por medio de la manivela del carro. En este caso el avance (igual al paso de rosca) lo realiza la pieza.

Fase de mecanización II/2

Mecanizado de un orificio. Los taladros cortos y próximos al cabezal

pueden realizarse con un portabrocas montado al aire en el husillo. Los movimientos son como en I/2.

Fase de mecanización II/3

Roscado con macho de roscar. El macho de roscar (en general de un solo filo y de rendimiento alto) se sujeta en el husillo de taladrar con un casquillo adicional. El macho de roscar no debe deslizarse ni axial ni radialmente, ya que con un avance forzado por el husillo se cortaría mal la rosca o se rompería el macho de roscar.

Posición de mecanizado III:

Fase de mecanización III/1

Corte del resalte de un ojete de fundición. La barra de taladrar tiene el diámetro del orificio, consiguiéndose en él su guiado. La cuchilla montada en la barra de taladrar se sujeta con una cuña.

Fases de mecanización III/2, III/3 y III/4

Perforación, mecanizado y escariado de un orificio. Las herramientas (broca helicoidal para la perforación, avellanador helicoidal para el mecanizado a la medida de escariar y escariador para el escariado del orificio) se colocan una tras otra en el husillo de taladrar.

Posición de mecanizado IV:

Fases de mecanización IV/1 y IV/2

Rebajado interior y exterior de un cubo con avellanadores desmontables. Se sujetan los avellanadores sobre un portaherramientas con espiga de guiado en el husillo de taladrar. La espiga tiene el diámetro del orificio y da a la herramienta el guiado necesario.

PROCESO DE TRABAJO Y HERRAMIENTAS

Las superficies planas y contorneadas se mecanizan con máquinas cepilladoras y mortajadoras.

Cepillado

La pieza a mecanizar realiza el movimiento de corte y la herramienta los movimientos de avance y aproximación. Este proceso es apropiado para mecanizar superficies largas y estrechas. Cuando es posible, se sujetan varias piezas, una tras otra, a la mesa de la máquina (producción en serie).

Ventajas frente al fresado: poco calentamiento de la pieza mecanizada (deformación), gran exactitud (0,02 a 0,04 mm) y herramientas baratas. Inconvenientes: tiempos largos de mecanizado (carreras en vacío) y potencia requerida alta (movimientos de piezas pesadas y de la mesa de la máquina).

Figura 3-373. Movimientos en el cepillado y mortajado.

Figura 3-374. Angulos en las herramientas de cepillar y mortajar.

Mortajado

La herramienta realiza el movimiento de corte y la pieza los movimientos de avance y aproximación. Este proceso es apropiado para el mecanizado de superficies cortas y para la producción «pieza a pieza». El mortajado horizontal se aplica para el mecanizado de formas interiores.

Avance s **y profundidad de corte** a. El avance se realiza paso a paso en el momento de cambio de las carreras de retroceso a la de trabajo. Aquí también es válido avance pequeño y profundidad de

corte grande. El ángulo de posición κ debe ser de 45°. En el mortajado vertical, κ es en general de 90° a causa de los movimientos de la mesa paralelos o perpendiculares al filo de la herramienta.

Cuchillas de cepillar y mortajar. Tienen las mismas designaciones que las cuchillas de torno normalizadas y pueden estar cubiertas con placas de metal duro. Para el mortajado vertical son necesarias herramientas especiales.

Elevación de la herramienta en la carrera de retroceso. La herramienta debe levantarse de la pieza mecanizada durante la carrera de retroceso para no rozar con su filo la pieza mecanizada y no embotarse antes de tiempo. La máquina levanta automáticamente la herramienta.

Antes de comenzar a trabajar hay que comprobar si la herramienta retrocede correctamente a su posición de trabajo, en caso contrario existe el peligro de accidente o de rotura. Dar a la herramienta la carrera previa en vacío necesaria.

Velocidad de corte. Se fija de acuerdo con el tipo de material de la pieza a mecanizar y de la herramienta, y de la magnitud del avance (rugosidad de la superficie). En el mortajado, por lo general, se eligen valores empíricos de la velocidad de corte y de la frecuencia de carreras, mientras en el cepillado de piezas largas se determinan con exactitud debido al tiempo de mecanizado largo (planificación del trabajo).

A partir de la longitud de la carrera y de la velocidad de corte elegidas hay que calcular el número de carreras dobles por minuto y ajustarlo en la máquina.

En muchos casos es suficiente la **fórmula empírica:**

$$\text{Número de carreras dobles/min} = \frac{\text{Velocidad de corte en m/min}}{2 \times \text{Longitud de la carrera en m}}$$

ESTRUCTURA DE LAS CEPILLADORAS

El movimiento de corte, rectilíneo, es realizado por la mesa de la máquina con las piezas a mecanizar sujetas firmemente sobre ella. Los demás movimientos los realiza la herramienta.

Bancada. Soporta la mesa sobre sus guías de deslizamiento y da lugar al accionamiento de la misma. Los montantes están colocados a los lados.

Montantes. Tipo de cajas nervadas, están unidos en la parte superior por el cabezal superior fijo, de forma que el conjunto constituye un puente rígido.

Mesa. Soporta las piezas a mecanizar y es movida por un accionamiento mecánico (ruedas dentadas y cremallera) o por un accionamiento hidráulico (cilindro y émbolo).

Travesaño. Es ajustable sobre las guías de deslizamiento vertical de los montantes. Durante el proceso de trabajo está enclavado. Los carros del travesaño son desplazables sobre guías de deslizamiento horizontales.

Carros. La máquina puede soportar hasta cuatro carros, dos en el travesaño y uno en cada uno de los montantes. Los carros del travesaño pueden realizar horizontalmente el avance o la marcha rápida y los de los montantes verticalmente.

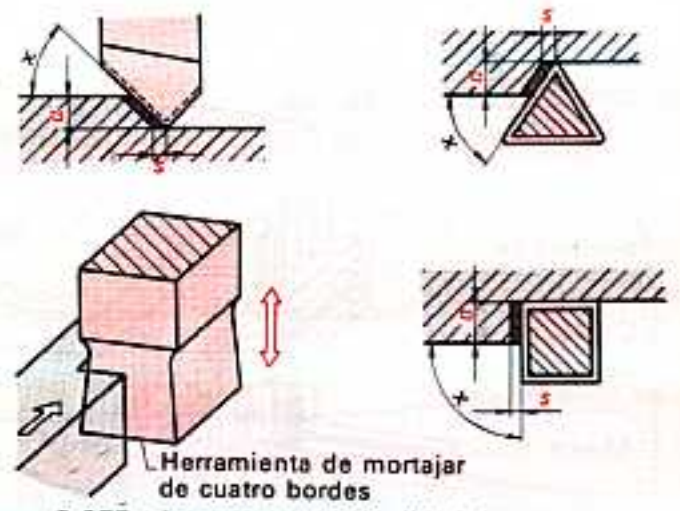


Figura 3-375. Avance *s* y profundidad de corte *a* en el cepillado y mortajado.

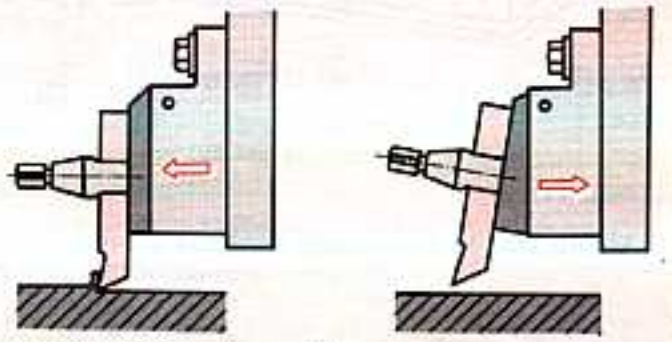


Figura 3-376. Elevación de la herramienta en la carrera de retroceso.

Material	Avance en mm/carrera								Herramienta
	0,16	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	
St 37 a St 44			75	67	60	53			P 30
C 22		25	22	18	14	12	10	9	SS
St 70			42	36	30	25			P 30
C 60		16	12	10	8	6	5		SS
Aceros aleados			25	20	17	15			P 30
		8,5	6,5	5	4	3			SS
Fund. acero hasta GS-52			26	24	21	19	16	14	P 30
		16	12	10	8	7	6	4,5	SS
Fundición gris hasta GG-26	36	32	28	26	25	22			K 10
		12	9	7	5,6	5	4		SS
Fundición Al	200	180	160	140	125	112	100	90	S 20
		40	32	25	20	18	16		SS

Figura 3-377. Valores orientativos de la velocidad de corte en el cepillado y mortajado.

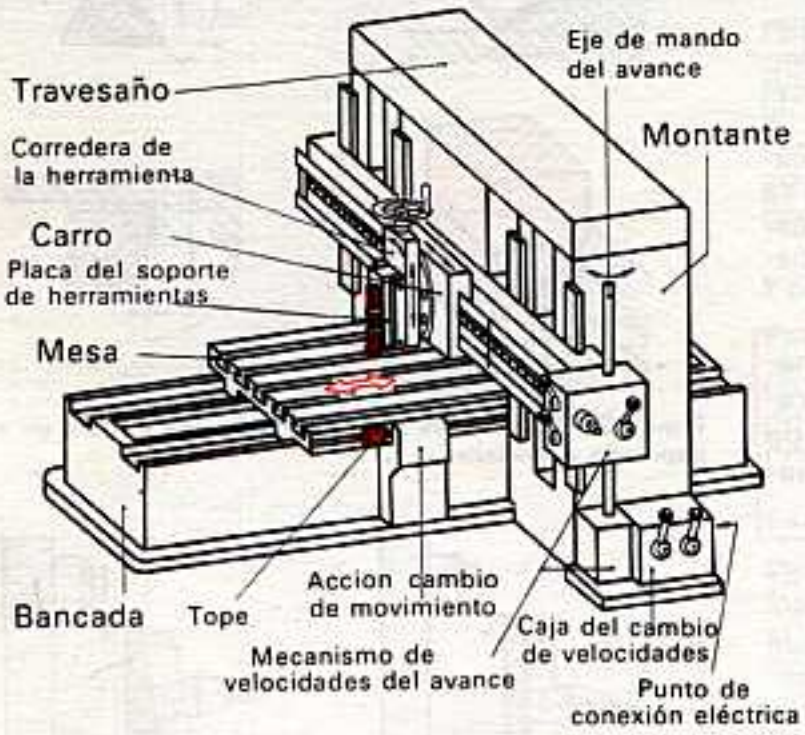


Figura 3-378. Cepilladora de doble montante.

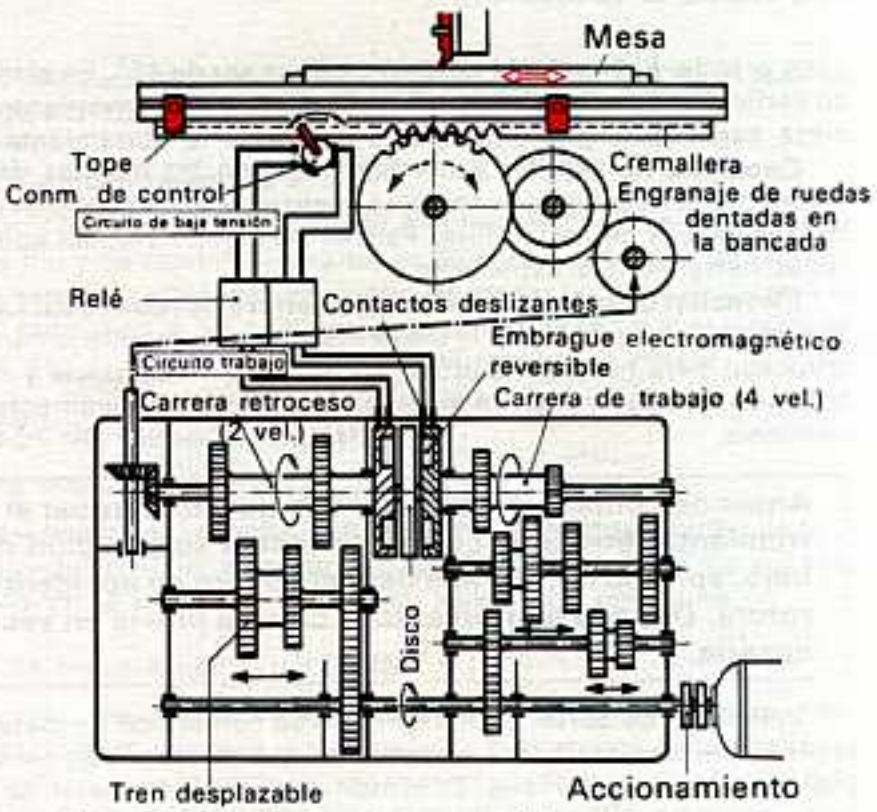


Figura 3-379. Accionamiento mecánico de la mesa de control.
El tope por medio del conmutador de control cierra un circuito de baja tensión y por un relé acciona el circuito de trabajo conectándose así el acoplamiento electromagnético reversible.

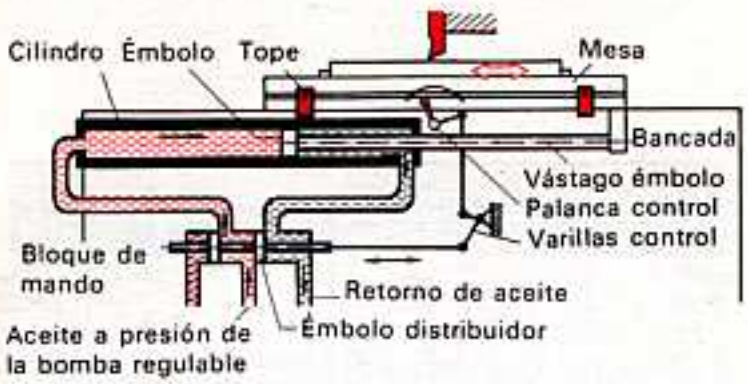


Figura 3-380. Accionamiento hidráulico de la mesa con control.

Correderas de la herramienta. Son giratorias montadas en los carros y realizan los movimientos de avance y de marcha rápida en sentido de su eje longitudinal.

Placas de retenida de las herramientas. Levantan la herramienta de la pieza mecanizada durante la carrera de retroceso.

Accionamiento principal en tres versiones

Accionamiento mediante motor regulable de corriente continua. Se puede variar la velocidad de corte sin discontinuidades. Los topes de la mesa varían el sentido de giro del motor.

Un motor trifásico con velocidad y sentido de giro constantes acciona la caja de cambios principal.

Mediante el desplazamiento de trenes de ruedas dentadas en la caja de cambios se pueden obtener, por ejemplo, cuatro velocidades para la carrera de trabajo y dos para la de retroceso. Los topes de la mesa controlan el embrague electromagnético reversible.

Con un accionamiento hidráulico la mesa se mueve por efecto de la presión del aceite.

La bomba regulable suministra caudales variables de aceite, de forma que se puede regular sin discontinuidades la velocidad de corte. Los distintos volúmenes del cilindro por delante y por detrás del pistón producen, a igualdad de caudal de aceite, una carrera de trabajo de la mesa lenta y de retroceso rápida. Los topes de la mesa controlan el cambio del movimiento.

En los tres tipos de accionamiento se fija, mediante los topes de la mesa, la longitud de la carrera y los puntos de inversión del movimiento.

Accionamiento del avance. Todas las herramientas son accionables con avance paso a paso o a marcha rápida. Un motor acciona con un movimiento giratorio el sistema del avance. Los topes hacen

que en el punto trasero de inversión de la mesa se transmite parcialmente este movimiento giratorio a través del engranaje, realizándose un reajuste de los husillos del carro, de los carros y del portaherramientas.

ESTRUCTURA DE LAS MORTAJADORAS

Esta máquina es apropiada para la mecanización de superficies interiores planas o contorneadas, así como piezas grandes (producción «pieza a pieza»).

Mortajadora vertical

La herramienta reaiza el movimiento rectilíneo principal en dirección vertical.

Bastidor y bancada. Están atornilladas entre sí o fundidas en una sola pieza. El bastidor lleva el carro y aloja el engranaje de velocidades principal. La bancada soporta a la mesa redonda, móvil en cruz, y lleva el dispositivo de avance.

Carro. Es desplazable en las guías de deslizamiento verticales y puede inclinarse lateralmente o hacia adelante. Se puede fijar la posición y longitud de la carrera.

Mesa. Consta de los carros longitudinal y transversal y de la mesa redonda giratoria. Los movimientos longitudinal, transversal y de giro constituyen movimientos de avance.

Accionamiento del carro. En máquinas pequeñas se realiza mediante mecanismo de cigüeñal, corredera oscilante o biela giratoria. Las máquinas grandes vienen con accionamiento hidráulico del carro.

Dispositivo de avance. En los accionamientos mecánicos se realiza el avance y el retroceso por medio de un mecanismo de cruz de Malta y en los hidráulicos con un cilindro y émbolo.

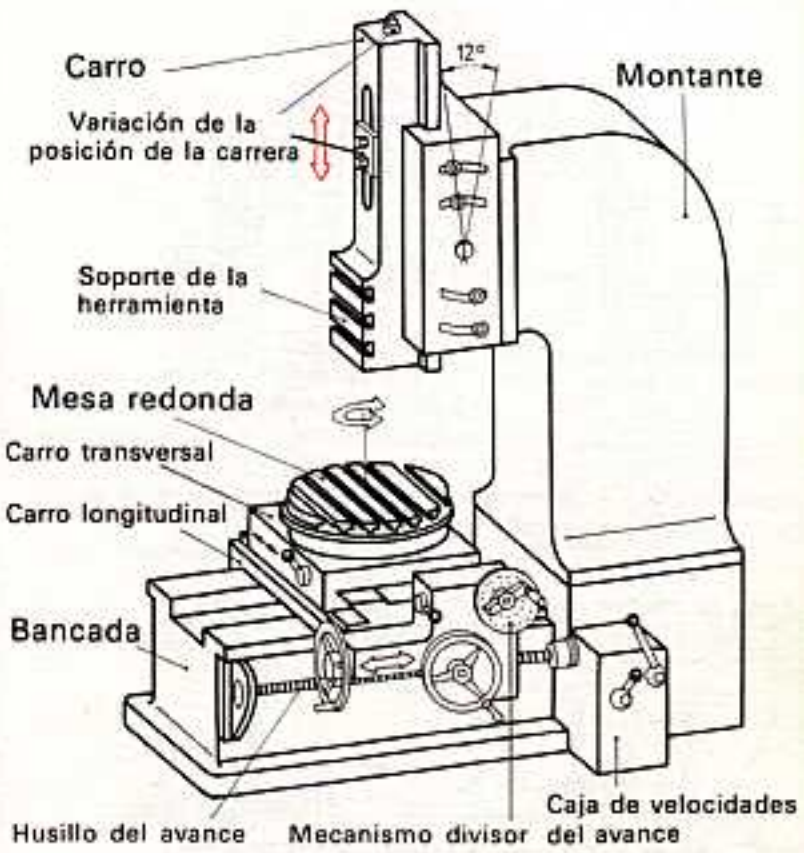


Figura 3-381. Mortajadora vertical.

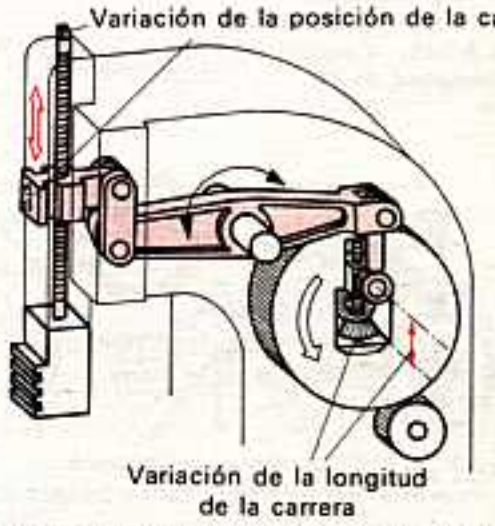


Figura 3-382. Accionamiento del carro de una mortajadora vertical.

Mortajadora horizontal

La herramienta realiza el movimiento rectilíneo principal en dirección horizontal.

El proceso es apropiado para la mecanización de superficies exteriores planas o contorneadas en piezas de hasta 800 mm de longitud (producción «pieza a pieza»).

Bastidor. Tiene forma de caja y soporta por su exterior el carro y la mesa, aloja interiormente la caja de velocidades y al accionamiento del carro (mecánico o hidráulico).

Carro. Se desliza sobre guías de deslizamiento regulables. La posición y longitud de la carrera también son regulables.

Soporte de la mesa. Es ajustable sobre unas guías de deslizamiento verticales. A su vez lleva otras guías sobre las cuales la mesa efectúa deslizamientos horizontales.

Mesa. Tiene forma de caja con ranuras en T y orificios para las sujeción de la pieza a mecanizar.

El movimiento de posicionamiento es vertical y el de avance horizontal.

Engranaje de velocidad principal. La transmisión del movimiento de giro se realiza desde el motor (de polos conmutables) a través

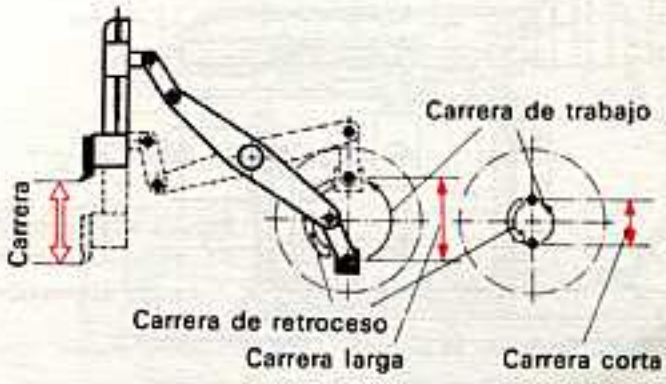


Figura 3-383. Variación de la longitud de la carrera en una mortajadora vertical.

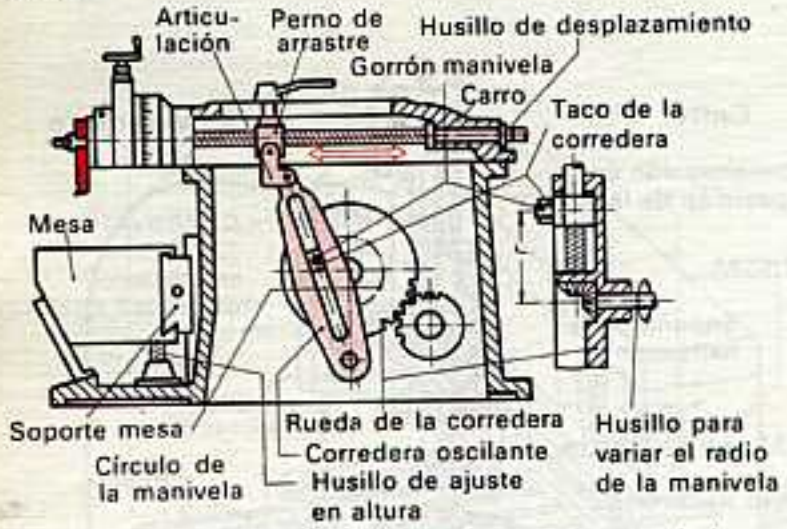


Figura 3-384. Accionamiento mecánico del carro de la mortajadora horizontal.

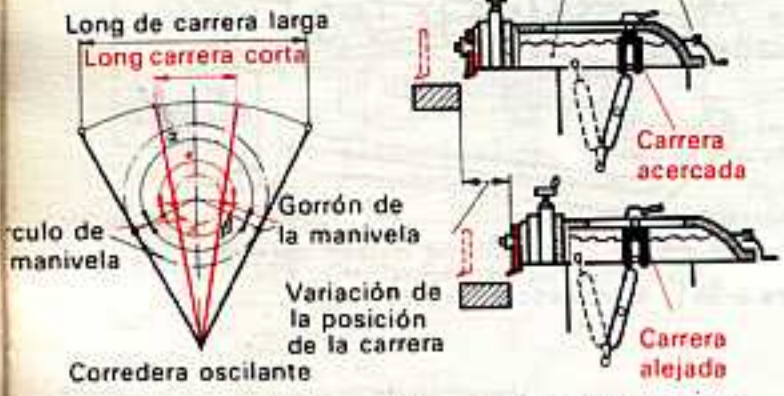


Figura 3-385. Variación de la longitud de la carrera.

Figura 3-386. Variación de la posición de la carrera.

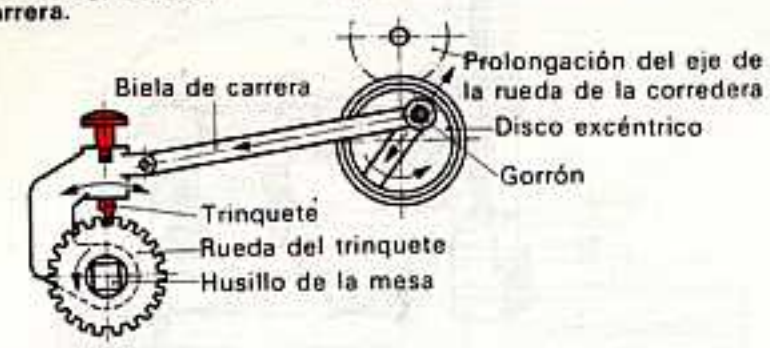


Figura 3-387. Dispositivo del avance.
Para invertir el sentido del avance se gira el trinquete 180°.

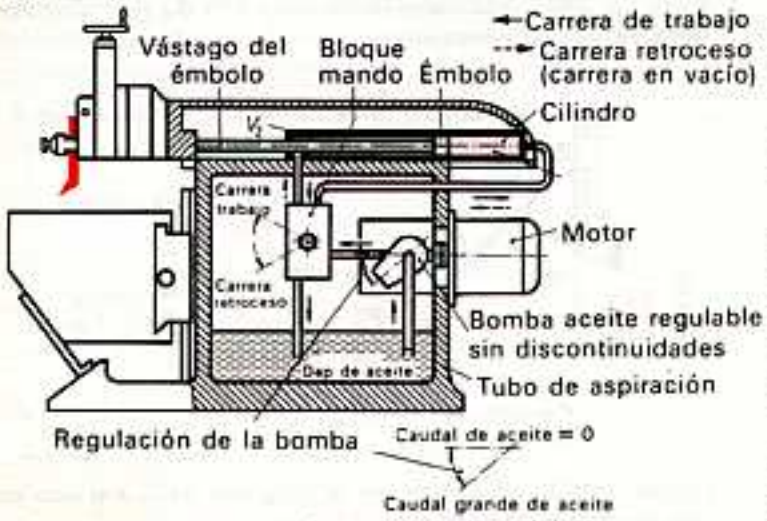


Figura 3-388. Accionamiento hidráulico del carro.

de un engranaje (de 3 a 8 velocidades) hasta la rueda de la corredera. El sentido del movimiento se varía por efecto de una corredera oscilante.

Dispositivo del avance. La mesa recibe su movimiento de avance horizontal (0,2 a 5 mm/carrera) a través de un mecanismo de cigüeñal, una biela, un trinquete con su rueda y un husillo.

FORMA DE ACTUACIÓN DE LA MORTAJADORA HORIZONTAL

El carro de la mortajadora horizontal es accionado mecánicamente (corredera oscilante) o hidráulicamente (cilindro y émbolo).

Accionamiento mecánico del carro (corredera oscilante)

El motor acciona, por intermedio del engranaje de velocidades principal, la rueda de la corredera que lleva el gorrón de la manivela. Este es ajustable radialmente y soporta el taco de la corredera (de bronce) el cual se desliza en la corredera y la pone en movimiento oscilante.

Una velocidad alta de la carrera de retroceso (carrera en vacío) ahorra tiempo de producción. El gorrón de la manivela gira con velocidad constante en su trayectoria circular. Con una carrera de trabajo α el gorrón debe correr un trayecto mayor (más tiempo), con una carrera de retroceso β uno menor (menos tiempo). Como los trayectos recorridos por el carro en las carreras de trabajo y de retroceso son iguales pero realizados en tiempos distintos, la velocidad es mayor en una carrera que en la otra. Cuanto mayor es la carrera, mayor es la diferencia de velocidades.

Variación de la longitud de la carrera. Si el gorrón de la manivela se desplaza hacia afuera en la rueda de la corredera describe un círculo mayor y la corredera oscilante oscila más ampliamente; la carrera aumenta. Si el desplazamiento del gorrón es hacia adentro, la carrera disminuye.

Variación de la posición de la carrera. La posición de la carrera debe adaptarse a la posición de la pieza a mecanizar. Para ello se afloja la tuerza de fijación del perno de arrastre y se desplaza el carro con el husillo regulador.

Fijación de la magnitud del avance. El disco excéntrico giratorio acciona al trinquete mediante el gorrón y la biela de carrera, produciendo un movimiento oscilante. El trinquete arrastra a su rueda en una sola dirección y desplaza a la mesa.

Desplazamiento del gorrón del disco excéntrico hacia afuera. A mayor amplitud de la oscilación del trinquete y su rueda, **mayor avance.**

Desplazamiento del gorrón del disco excéntrico hacia adentro. A menor amplitud de la oscilación del trinquete y su rueda, menor avance.

Accionamiento hidráulico del carro

El motor eléctrico acciona la bomba de aceite. Girando la bomba varía el caudal de aceite y con ello la velocidad del carro. Los topes regulables situados en el carro controlan su movimiento. Con los topes se pueden variar la posición y la longitud de la carrera.

Carrera de trabajo. El aceite entra en la cámara V_1 del cilindro. La **velocidad del carro es pequeña** porque debe llenarse un volumen mayor del cilindro; **la fuerza de avance es grande** ya que el aceite presiona contra la superficie grande del émbolo.

Carrera de retroceso. El aceite entra en la cámara V_2 del cilindro. **La velocidad del carro es grande** porque se llena un volumen menor del cilindro; **la fuerza de avance es pequeña** ya que el aceite presiona contra la superficie pequeña del émbolo.

SUJECIÓN DE LAS PIEZAS

La resistencia que ofrece el material al arranque de virutas produce grandes fuerzas en la pieza mecanizada. La magnitud de estas fuerzas depende de la resistencia del material y de la sección de la viruta.

Fuerzas sobre la pieza mecanizada

La fuerza mayor es la fuerza de corte que actúa en el sentido del movimiento de corte y su magnitud puede calcularse. En el cepillado esta fuerza puede alcanzar los 200 kN o más.

Estas grandes fuerzas tienden a separar o desplazar a la pieza mecanizada de su fijación. Esto debe evitarse mediante elementos de sujeción correctamente elegidos y montados.

Pensar primero con detenimiento qué fuerzas actúan en las distintas direcciones; fijar después los elementos de sujeción.

Una fuerza de corte grande debe ser absorbida fundamentalmente por un tope que debe ser tan ancho como la pieza mecanizada para evitar con seguridad el efecto de giro al principio y al final del mecanizado.

Los perros de sujeción actúan según la ley de la palanca. Por ello se deben fijar los tornillos lo más cerca posible de la pieza a mecanizar y crear allí la mayor parte de la fuerza. Como calzos se utilizan piezas en forma de escalera, puentes, piezas prismáticas de acero u otras que sean regulables en altura.

Las mordazas de sujeción con forma de media luna se ajustan ellas mismas a la altura de la pieza a mecanizar. El tornillo de fijación debe trabajar vertical para que no salte la mordaza.

Las cuñas de sujeción son apropiadas para piezas que no tienen salientes ni superficies en las que se pueda fijar algún otro elemento de fijación. La pieza a mecanizar debe tener no obstante una altura suficientemente grande y se emplean varias parejas de cuñas en cada sujeción.

Las piezas a mecanizar planas se pueden sujetar con **dedos de sujeción** cuando las fuerzas de corte son pequeñas por ser también pequeños la profundidad de corte y el avance.

Las piezas pequeñas se pueden sujetar bien en **tornillos portapieza** si se utilizan calzos de altura adecuada y se encajan en el momento del cierre del tornillo mediante golpes de martillo. La fuerza de corte debe actuar preferiblemente contra la mordaza fija.

Las piezas cilíndricas se soportan y sujetan bien con **prismas.**

EJEMPLO DE TRABAJO

Ejercicio: Mecanizar la pieza principal de un dispositivo de taladro mediante mortajado con mortajadora horizontal.

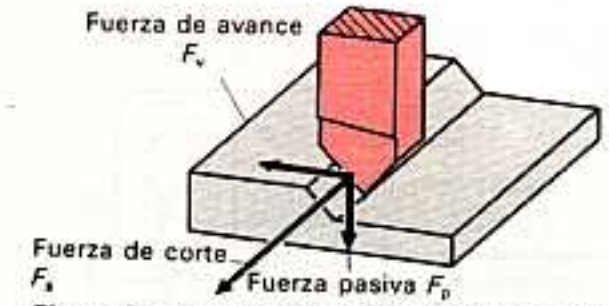


Figura 3-389. Fuerzas sobre la pieza mecanizada.



Figura 3-390. El tope absorbe la fuerza de corte.

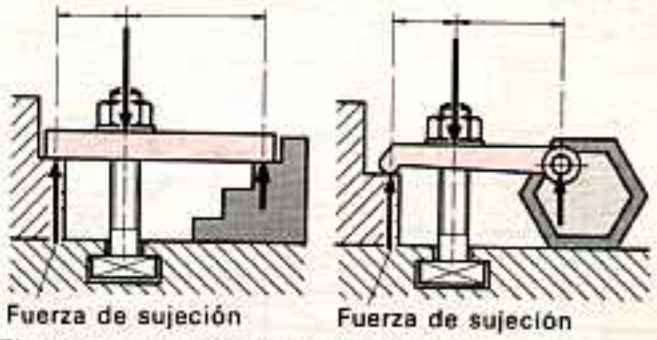


Figura 3-391. Sujeción con perros.

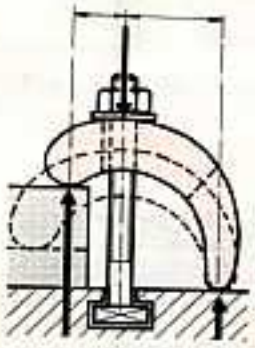


Figura 3-392. Mordaza de sujeción.

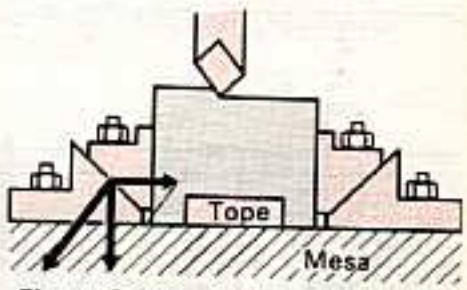


Figura 3-393. Cuñas de sujeción:

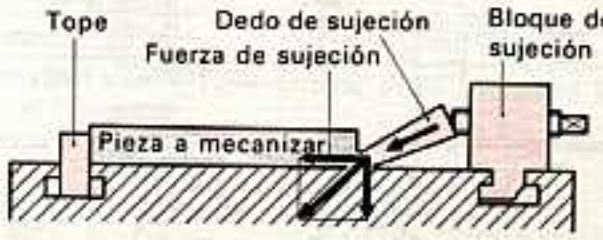


Figura 3-394. Sujeción de piezas planas.

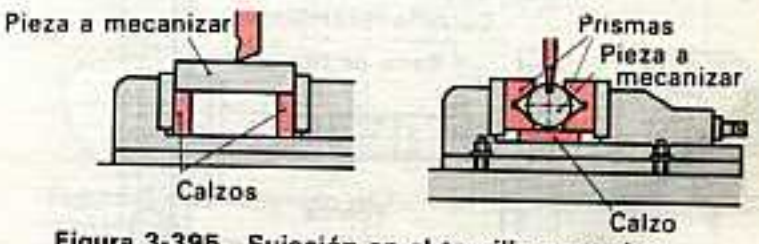
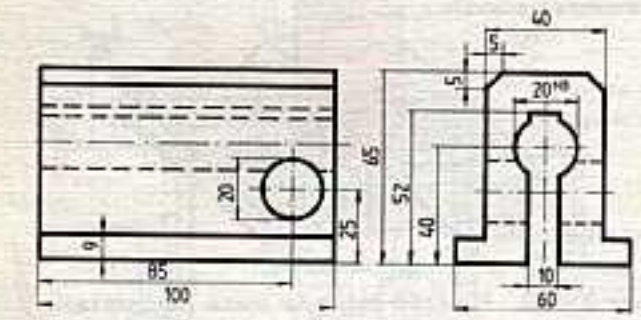
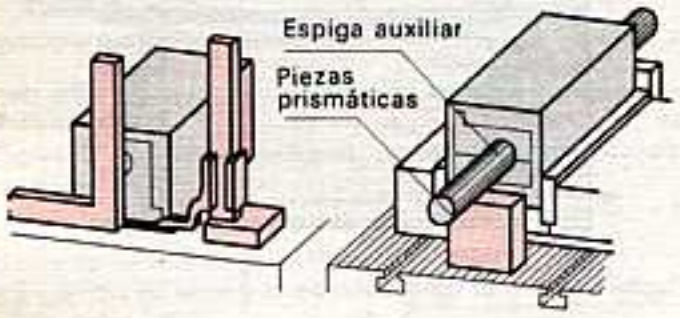
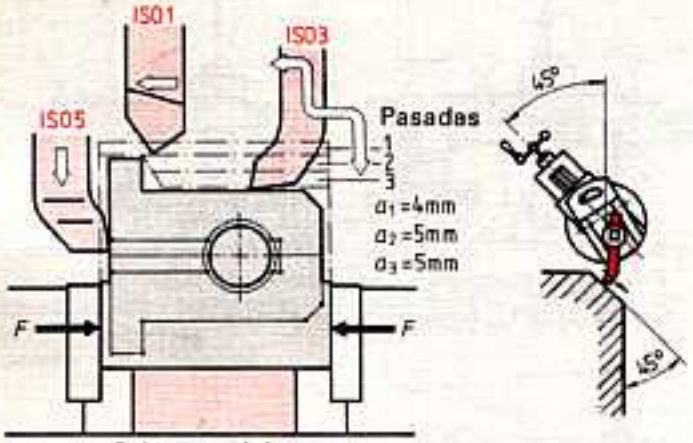


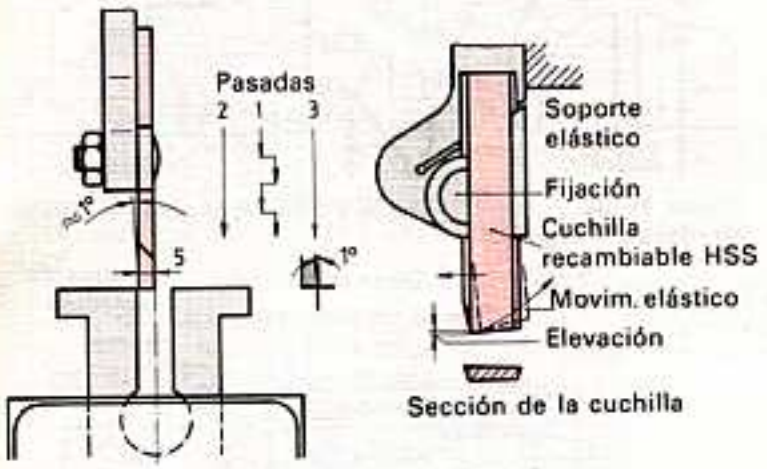
Figura 3-395. Sujeción en el tornillo portapieza.



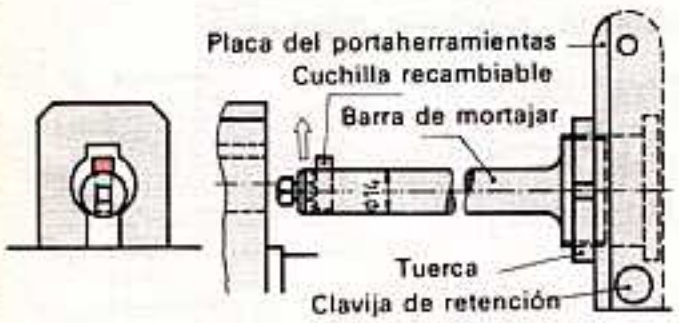




Calzo paralelo



Sección de la cuchilla



Desarrollo del trabajo

1. **Marcado** de la pieza en bruto de 70 × 70 × 105 en una cara frontal y colocación de granetes de control (30°). El orificio de ∅ 20 y ajuste H 8 se taladra con la taladradora y se escaría a mano.
2. **Fijación** de la pieza a mecanizar en el tornillo portapiezas.

a) Tener en cuenta la magnitud y sentido de las fuerzas de corte y elegir un tornillo portapiezas lo suficientemente grande.
b) Ajustar el paralelismo de las superficies exteriores respecto al orificio con ayuda de la espiga auxiliar (redondo de acero estirado) y piezas prismáticas.
c) El calzo paralelo no sólo sirve para nivelar la pieza, sino también para evitar que se vuelque.
d) Fijar la pieza a mecanizar de forma que no haya que cambiar la sujeción muchas veces.
e) La pieza debe poderse medir también después de fijada.

3. **Valores posibles de trabajo** para el desbaste y acabado exterior (DH = carrera doble).

Fases de trabajo	*v* m/min	*s* mm/DH	*n* DH/min
Desbaste con ISO 1 Pasadas 1 y 2	18	0,6	90
Acabado con ISO 3	25	0,25	125
Acabado con ISO 5	22	0,25	110

4. **Fijar la pieza al revés** y mecanizar la cara opuesta como en el punto 3.
5. **Mecanizar la ranura.** Se supone aquí que no se dispone de ninguna fresadora con la que se pueda mecanizar la ranura más económicamente. Como herramienta se emplea una cuchilla con soporte elástico que se levanta al engancharse el filo de la herramienta en el material, evitándose así la rotura de la misma. Se mecaniza la ranura en tres pasadas. En las pasadas 1 y 2 se gira la cuchilla 1°, aproximadamente, hacia la derecha y en la pasada 3 hacia la izquierda el mismo ángulo, para conseguir un corte lateral libre de la herramienta.

Fases de trabajo	*v* m/min	*s* mm/DH	*n* DH/min
Pasada de desbaste	10	a mano	50
Pasada de acabado	25	0,25	125

6. **Mecanizado de la ranura** por encima del orificio.

Fijar la pieza al revés y mecanizar hacia arriba con la barra de mortajar.

¡Atención! Para este trabajo hay que desconectar la elevación automática de la herramienta y fijar con la clavija de sujeción la placa móvil de la herramienta.

Velocidad de corte 10 m/min., aproximadamente.

Avance a mano a voluntad.

Se cambia la barra de mortajar por el portaherramientas y se aprieta fijamente con la tuerca ranurada en la placa del portaherramientas.

7. **Mecanizado** de las caras frontales.

Fases de trabajo	*v* m/min	*s* mm/DH	*n* DH/min
Una pasada de acabado cada una con ISO 5	25	0,25	125

3.6.6. Brochado

HERRAMIENTAS, FORMACIÓN DE VIRUTAS, VALORES DE TRABAJO

En el brochado la herramienta con forma de barra (brocha) es accionada rectilíneamente en el interior de un orificio de la pieza a mecanizar (brichado interior) o a lo largo de su periferia externa (brochado exterior).

Este procedimiento de mecanizado sólo es apropiado para la producción en serie, ya que para cada perfil de brochado hay que fabricar una herramienta de alto costo.

Denominación de las partes de la brocha

El **mango** sirve para fijar la brocha al carro de accionamiento de la brochadora.

La **guía** debe adaptarse con un juego pequeño, por ejemplo ajuste ISO H7/g6, en el orificio premacanizado en la pieza y guiar la herramienta durante la entrada.

La **parte de arranque de virutas** se reparte en zonas de desbaste y acabado, siendo en este último muy pequeña la profundidad de corte.

La **parte de calibrado** no tiene ningún diente sobresaliente y no arranca viruta. Sus cuatro o seis dientes sobrepasan a los de corte después del afilado de la herramienta. El extremo de la herramienta tiene otra **guía** con la que la brocha se adapta al orificio pasante al final del brochado.

Formación de virutas

La herramienta se mueve solamente en sentido longitudinal (movimiento de corte). Hay un arranque de viruta continuado ya que los dientes tienen un resalto y por lo tanto no es necesario ningún movimiento de avance. Este resalto de los dientes (profundidad de corte) está de acuerdo con el tipo de material y hay que conservarlo invariable al afilar las herramientas embotadas. Para que el rizo de viruta quepa holgadamente en el espacio para la misma, hay que retocarlo por rectificado después de varios afilados de los dientes.

Procedimiento de brochado

Para conseguir el rendimiento óptimo de mecanizado se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Correcto **resalto del diente.** Si es muy grande, se sobrecarga la herramienta y puede romperse. Si es muy pequeño, la herramienta tiene que ser muy larga o se tienen que emplear dos o más brochas para un perfil determinado.
2. Correcta **velocidad de corte.** Demasiado grande: poca duración de la herramienta. Demasiado pequeña: pérdida de tiempo, antieconómico.
3. Una **refrigeración-lubricación** correcta aumenta la duración de la herramienta, disminuye la fuerza de tracción y da un mejor acabado de la superficie.
4. **El afilado** a tiempo es condición previa para un buen acabado superficial y una fuerza de tracción pequeña. Hay que detectar a tiempo el embotamiento de la herramienta. Comienza cuando en los bordes de los filos aparecen chaflanes y redondeamientos, la fuerza de tracción aumenta excesivamente, la pieza mecanizada muestra sobremedidas y las superficies brochadas resultan rugosas.

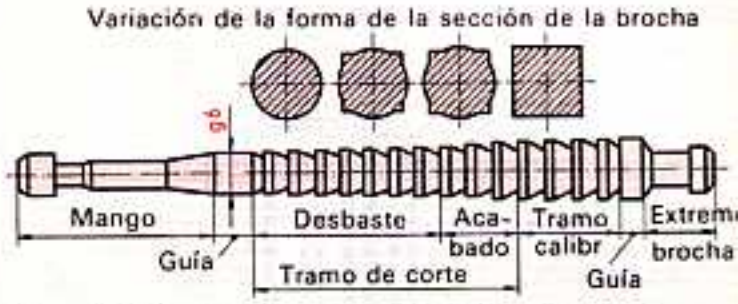


Figura 3-396. Brocha para el brochado interior de un cuadrado.

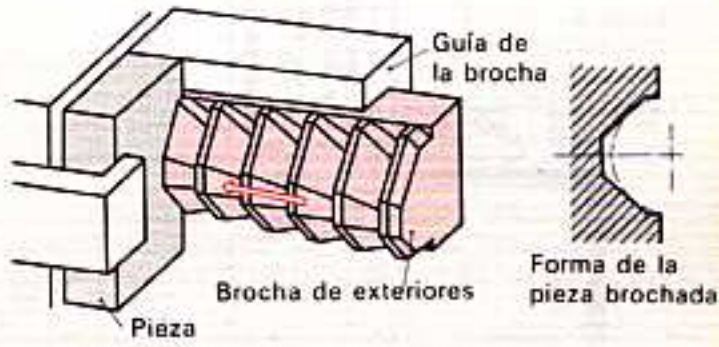


Figura 3-397. Brocha para brochado exterior.

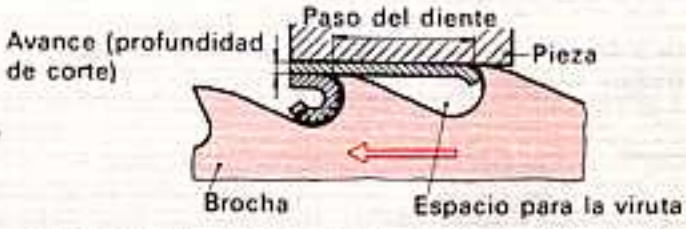


Figura 3-398. Formación de viruta en el brochado.

Material	Velocidad de corte en m/min			Refrigeración y lubricación
St 70	3...4,5	4,5...5,5	4,5...6	Aceite de corte
Acero aleado		1...2		Aceite de corte
Acero tenaz	Valores	1...2	Valores	Aceite de corte
Acero blando	inferiores	6...8	superiores	Emulsión de corte
Fundición gris		7,5...10		En seco/Aceite corte
Aleaciones metales ligeros	Máxima velocidad de la máquina			Al: Emulsión Mg: En seco

Figura 3-399. Valores orientativos de la velocidad de corte en el brochado.

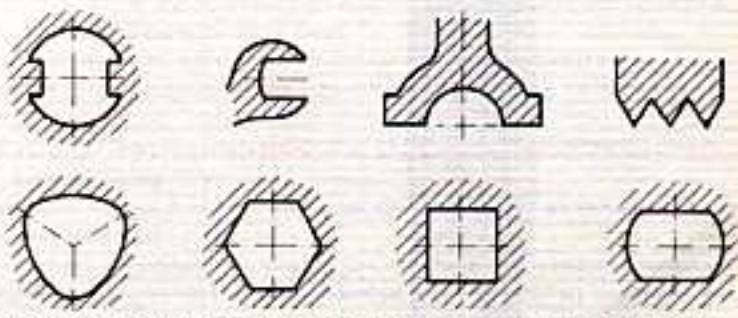


Figura 3-400. Ejemplo de formas de brochado interiores y exteriores.

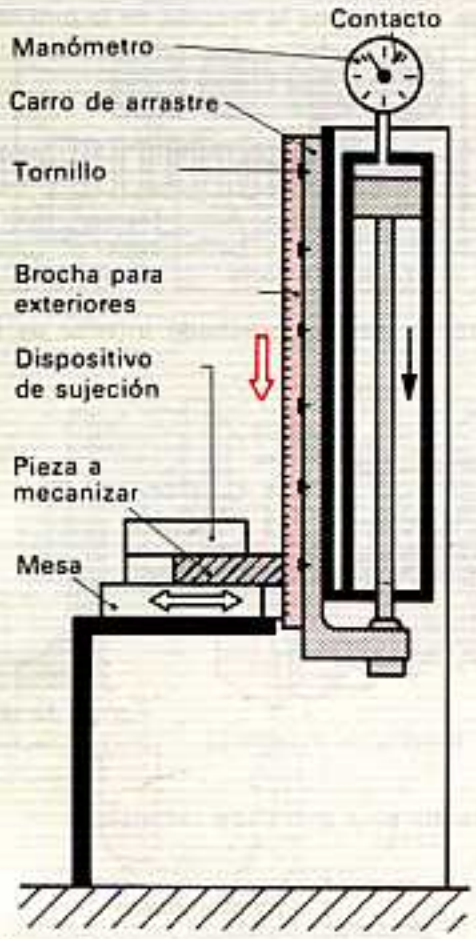


Figura 3-402. Representación esquemática de una brochadora vertical.



Figura 3-403. Brocha para exteriores.

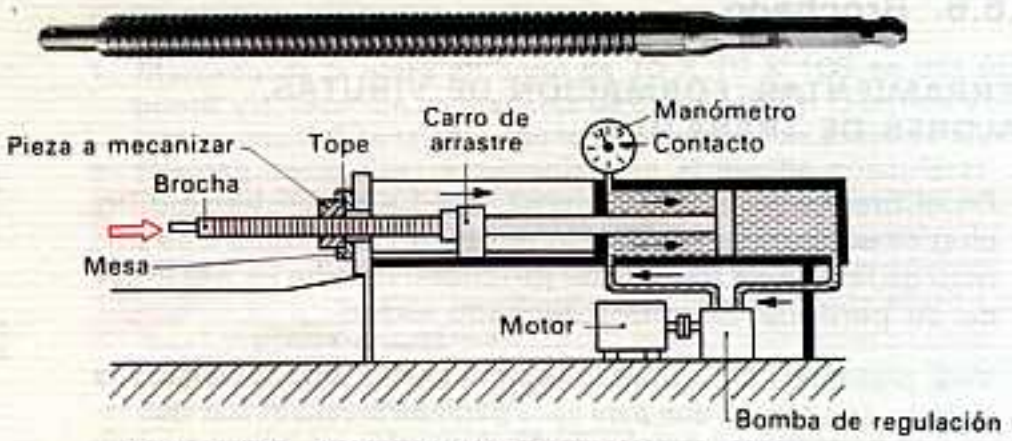


Figura 3-401. Representación esquemática de una brochadora horizontal.

BROCHADORAS

La fabricación de una brocha sólo es económica para el mecanizado de gran número de piezas. Por lo tanto, las brochadoras son máquinas para la producción en serie.

Están equipadas, cuando es necesario y posible, con alimentadores automáticos de piezas (dispositivos de carga de piezas) o instaladas en líneas «transfer». Las brochadoras modernas tienen generalmente accionamiento hidráulico.

Ventajas del accionamiento hidráulico:

1. Movimiento de corte (movimiento de tracción) uniforme, sin brusquedades ni vibraciones.
2. Regulación continua de la velocidad de tracción.
3. La fuerza de tracción se regula por medio de un manómetro, es decir, es ajustable.

Estructura general del accionamiento hidráulico

Un motor eléctrico acciona una bomba cuyo caudal variable tiene una regulación continua. De la bomba, el aceite a presión pasa al cilindro de accionamiento a través de un sistema de control (válvulas de control, de retención, de sobrepresión, etc.). Variando el caudal de la bomba se varía también la velocidad del émbolo. En el cilindro de accionamiento o en la tubería a presión está conectado un manometro que indica la presión del aceite en bars durante la carrera de trabajo. Como la superficie del émbolo sobre la que presiona el aceite permanece constante, el manómetro indica directamente la fuerza de tracción del émbolo si su escala está graduada en N. El manómetro puede también actuar sobre un presostato regulable que desconecta la máquina en caso de sobrecarga.

Fijación de las piezas

En el **brochado de interiores** es suficiente, en la mayoría de los casos, fijar la pieza a mecanizar contra un simple tope fijamente sujeto a la mesa de la máquina. Este tope debe soportar a la pieza a mecanizar contra el movimiento de corte y evitar los desplazamientos laterales.

En el **brochado de exteriores** se debe sujetar siempre la pieza a mecanizar con un dispositivo que la soporte contra las fuerzas de corte actuantes en un solo sentido.

Fijación de las herramientas

Las **herramientas de brochado de interiores** se introducen a través de la pieza a mecanizar y se fijan al carro de arrastre por medio de cuñas. Las máquinas totalmente automáticas sujetan la herramienta hidráulicamente. Las herramientas de brochar largas se sujetan en ambos lados y una vez concluido el proceso de brochado la dejan de nuevo en la posición de partida.

Las **herramientas de brochado de exteriores** se montan sobre placas de apoyo y se atornillan junto con ellas al carro de arrastre.

Ejercicios

Corte por arranque de viruta con máquina

Fresado

1. Describir los movimientos en el fresado.
2. Indicar la diferencia entre fresas de dientes aguzados y fresas destalonadas.
3. ¿En qué se dferencian las fresas tipo H, N y W?
4. Indicar la diferencia entre planeado perimetral y planeado perimetral y frontal en lo referente a la disposición de la fresa y al desarrollo de los movimientos.
5. Describir cómo se forma la viruta en el planeado perimetral y en el planeado perimetral y frontal.
6. Indicar la diferencia entre los movimientos del fresado en el sentido del avance y del fresado en sentido contrario al avance.
7. ¿Qué ventajas e inconvenientes tienen el fresado en sentido del avance y en sentido contrario al mismo?
8. Mencionar y describir algunas formas típicas de fresas.
9. ¿Por qué se dan los valores del avance s_z en forma de tablas?
10. Describir las características constructivas de las fresadoras de consola.
11. Describir los movimientos en una fresadora de consola.
12. ¿En qué se caracteriza una fresadora universal?
13. Explicar el funcionamiento del dispositivo del fresado en sentido del avance.
14. ¿Cómo funciona el fresado de vaivén?
15. ¿Qué ventajas tiene el fresado de vaivén con control programado?
16. Describir las fuerzas que actúan sobre la pieza mecanizada en el fresado en el sentido del avance y en sentido contrario al mismo.
17. ¿Con qué hay que tener cuidado en la sujeción con fresas de dientes oblicuos?
18. Describir la ventaja del diámetro pequeño de las fresas en relación con las fuerzas.
19. Indicar la diferencia entre la sujeción por arrastre y la sujeción por fricción de la pieza mecanizada.
20. Describir la división directa con el divisor.
21. Describir la estructura del cabezal divisor universal.
22. Explicar la división indirecta con el cabezal divisor universal.
23. Calcular en los siguientes ejemplos el giro de la manivela o cada cuántos orificios hay que fijarla y en qué círculo de orificios, cuando la rueda helicoidal tiene 40 dientes y existen los siguientes círculos de orificios en el plato divisor: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 27, 29, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49.
    Ejemplos:
    a) Rueda dentada con 160 dientes.
    b) Polígono de 14 lados.
    c) Dentado con 36 entalladuras.
    d) Eje multienchavetado con 9 ranuras.
    e) Rueda helicoidal con 76 dientes.
    f) Brida con 45 taladros.
    g) Círculo de orificios con 136 orificios.
24. ¿En qué casos particulares debe emplearse la división diferencial?
25. Describir el procedimiento de la división diferencial.
26. Describir los movimientos en el fresado helicoidal.
27. ¿Por qué deben afilarse las fresas de perfiles solamente por la parte del hombro?
28. ¿Qué superficies del diente se afilan en las fresas de dientes aguzados?
29. ¿Con qué medios auxiliares se puede aproximar una fresa a su posición correcta sobre la pieza a mecanizar ya sujeta?

Taladrado, avellanado, escariado

30. Citar e indicar la diferencia entre los distintos procedimientos de trabajo incluidos en el concepto de «taladrado y avellanado».
31. ¿En qué consiste la diferencia entre taladrado y ensanchamiento de orificios?
32. Indicar la diferencia entre taladrado profundo y taladrado hueco.
33. Describir los movimientos en el taladrado y en el avellanado.
34. ¿Qué función tiene el bisel de la broca?
35. Comnparar el efecto de arranque de viruta del filo principal y del filo transversal.
36. Hacer un bosquejo del filo de una herramienta (filo de corte de la broca) e indicar los ángulos.
37. ¿En qué se diferencian entre sí las brocas helicoidales del tipo N, H y W?
38. Indicar el tipo apropiado de broca helicoidal para taladrar: a) CuZn 40, b) material prensado, c) aluminio.
39. Indicar algunos de los afilados especiales de las brocas helicoidales.
40. ¿Qué finalidades se consiguen con los avellanadores huecos?
41. ¿Para qué trabajos se emplea un portabrocas?
42. Indicar los usos de las brocas de taladrado profundo y de taladrado hueco.
43. ¿Por qué debe aumentarse el ángulo de despullo de la broca en caso de avances grandes?
44. Explicar el concepto de rendimiento de mecanizado.
45. Indicar la diferencia entre velocidad de corte y velocidad de giro.
46. Relacionar la velocidad de corte, el avance y la fuerza de avance con el rendimiento de mecanizado.
47. ¿Por qué no se puede aumentar con facilidad el rendimiento de mecanizado?
48. Indicar las posibles causas de los siguientes defectos de taladrado: a) orificio del taladro demasiado grande, b) los filos de la broca no se embotan con uniformidad, c) la broca se descentra.

49. ¿Cómo se sujetan las brocas con: a) mango cilíndrico, b) mango cónico?
50. Asignar el avellanador apropiado para los siguientes trabajos: desbarbado de un orificio, avellanado profundo, ensanchamiento de un orificio.
51. ¿Por qué tienen los avellanadores cónicos diferentes ángulos de punta?
52. ¿Por qué no tienen en general los avellanadores ángulo de ataque?
53. ¿Por qué no son apropiadas las brocas para trabajar como avellanadores?
54. ¿Qué defectos pueden producirse a causa de filos embotados y posición incorrecta de la pieza a mecanizar?
55. Razonar por qué hay que procurar una buena salida de la viruta y una buena refrigeración y lubricación.
56. ¿En qué se diferencian los escariadores mecánicos de los manuales?
57. ¿Por qué en los escariadores mecánicos puede ser corta la sección de filos?
58. ¿Qué finalidad económica tiene la fabricación de los escariadores sin mango?
59. Describir la estructura de una taladradora de columna.
60. ¿Que ventajas tienen las taladradoras de husillos en línea y las de husillos múltiples?
61. Explicar la relación existente en una taladradora entre el movimiento de corte y el de avance.
62. ¿Para qué trabajos es apropiada la taladradora radial?
63. ¿Qué ventajas particulares tienen las taladradoras de coordenadas?
64. ¿Cómo está formado un sistema de coordenadas?
65. Describir el ajuste del husillo de taladrar sobre el origen de coordenadas en una taladradora de coordenadas.
66. Describir el ajuste del husillo sobre un nuevo punto a taladrar en una taladradora de coordenadas.
67. Describir la estructura de una mandrinadora fresadora horizontal.
68. ¿Para qué trabajos es especialmente apropiada la mandrinadora fresadora horizontal?
69. ¿Mediante qué movimientos se coloca el husillo de taladrar de una mandrinadora fresadora horizontal sobre un nuevo punto a taladrar?
70. ¿Por qué muchas de las mandrinadoras fresadoras horizontales tienen mesa giratoria?

Cepillado y mortajado

71. Explicar la diferencia entre cepillado y mortajado.
72. ¿Por qué en el cepillado o mortajado debe levantarse la herramienta durante la carrera de retroceso?
73. ¿Cuál es la regla práctica para calcular el número de carreras dobles en el cepillado o mortajado?
74. ¿Cómo se limita y se controla en una cepilladora el movimiento de la mesa?
75. Explicar el accionamiento hidráulico de una cepilladora por medio de un bosquejo.
76. Citar ejemplos de trabajos de una mortajadora vertical.
77. ¿Cómo se varían la longitud y la posición de la carrera en una mortajadora vertical con accionamiento mecánico?
78. ¿Cómo se varían la posición y longitud de la carrera en una mortajadora horizontal con accionamiento mecánico del carro?
79. Explicar el accionamiento por corredera oscilante en una mortajadora horizontal.
80. ¿Cómo funciona el dispositivo del avance de una mortajadora horizontal?
81. Describir el accionamiento hidráulico del carro de una mortajadora horizontal.
82. ¿Qué ventajas tienen en las cepilladoras y mortajadoras una carrera de trabajo lenta y una carrera de retroceso (o en vacío) rápida?
83. ¿Qué fuerzas actúan sobre la herramienta y sobre la pieza mecanizada en el cepillado y mortajado?
84. ¿De qué depende la magnitud de las fuerzas de arranque de viruta en el cepillado y mortajado?
85. Describir el efecto de la ley de la palanca en la utilización de perros y garras de sujeción.
86. ¿Por qué debe emplearse en el ranurado un soporte elástico para la cuchilla?

Brochado

87. ¿Qué ventajas tiene el procedimiento de brochado?
88. Describir la estructura de una brocha por medio de un bosquejo.
89. Representar algunas de las formas que pueden obtenerse mediante brochado de interiores.
90. Hacer un bosquejo de algunas de las formas que pueden obtenerse mediante brochado de exteriores.
91. ¿Por qué no es necesario en el brochado el movimiento de avance?
92. ¿Qué ventajas tiene el accionamiento hidráulico en el proceso de brochado?
93. Describir la forma constructiva de una brochadora hidráulica.
94. ¿Por qué debe fijarse en el brochado de exteriores la pieza a mecanizar a la mesa de la máquina?

3.6.7 Rectificado

ARRANQUE DE VIRUTA CON FILO INDETERMINADO GEOMÉTRICAMENTE

Los discos abrasivos son cuerpos compactos formados por partículas abrasivas y aglomerantes que, mediante un rápido movimiento de giro, fuerzan al abrasivo a arrancar viruta de la pieza que se trabaje.

Los granos embotados se separan del disco dejando a otros granos de cantos vivos en posición de corte.

Composición del disco abrasivo

Para adaptar las propiedades del disco abrasivo al material de la pieza a mecanizar, se varían distintas características:

abrasivos = materiales de los que están compuestos los granos.
granos = tamaños de las partículas abrasivas.
grados de dureza = resistencia de la aglutinación.
consistencias = porosidad del disco abrasivo.
aglomerantes = Materiales que aglutinan a las partículas abrasivas.

Consistencia

Se entiende por consistencia el tamaño y número de poros del material que compone el disco y la proporción de abrasivo y aglomerante en el volumen total.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
← Consistencia cerrada →													
← Consistencia abierta →													

Abrasivos

Los abrasivos más usuales actualmente son los óxidos de aluminio fundidos en horno eléctrico y llamados **corindones**. Se utilizan también los **carburos de silicio** que, como todos los carburos, son muy duros y quebradizos. El diamante y el nitruro de boro se emplean principalmente en bandas abrasivas.

Coridón	A	Diamante	D
Carburo de silicio	C	Nitruro de boro	B

Grano

Se entiende por grano el tamaño de las partículas abrasivas. Los números de grano corresponden al número de mallas por pulgada del tamiz donde han sido cribadas las partículas. Para el diamante y el nitruro de boro la designación corresponde al ancho de malla del tamiz en μm.

Grado de dureza

Se entiende por grado de dureza del disco abrasasivo, la característica del aglomerante de sujetar los granos abrasivos o de dejar que se rompan. Una aglomeración es dura si mantiene los granos largo tiempo y débil si los granos se separan fácilmente.

A	B	C	D	Extraordinariamente blando
E	F	G	–	Muy blando
H	I	Jot	K	Blando
L	M	N	O	Medio
P	Q	R	S	Duro
T	U	V	W	Muy duro
X	Y	Z	–	Extraordinariamente duro

Aglomerante

Las distintas materias aglomerantes dan al disco abrasivo un comportamiento quebradizo o elástico.



Figura 3-404. Caracterización de un disco abrasivo.

basto	medio	fino	muy fino
6	30	70	220
8	36	80	240
10	46	90	280
12	54	100	320
14	60	120	400
16		150	500
20		180	600
24			800
			1000
			1200

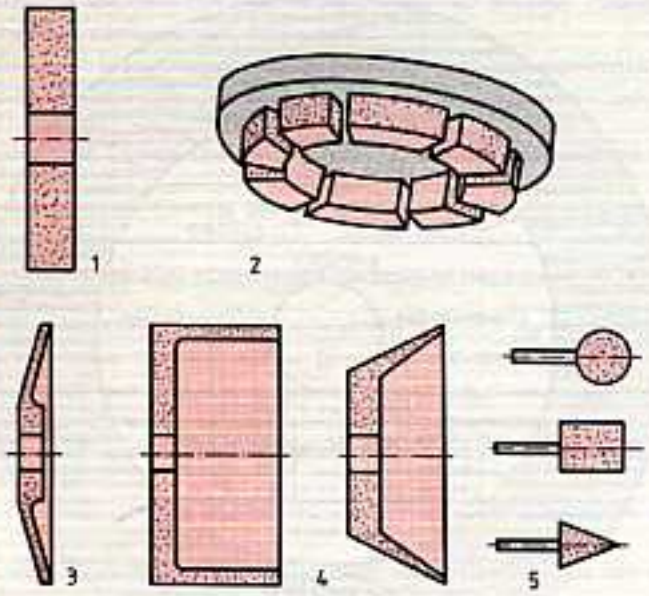


Figura 3-405. Formas geométricas de cuerpos de rectificar según DIN 69120 a 69186.
1) **Disco recto**
2) **Disco de segmentos** para rectificado plano
3) **Disco de plato** para afilado de herramientas
4) **Discos de copa** cilíndrico y cónico
5) **Muelas de vástago**

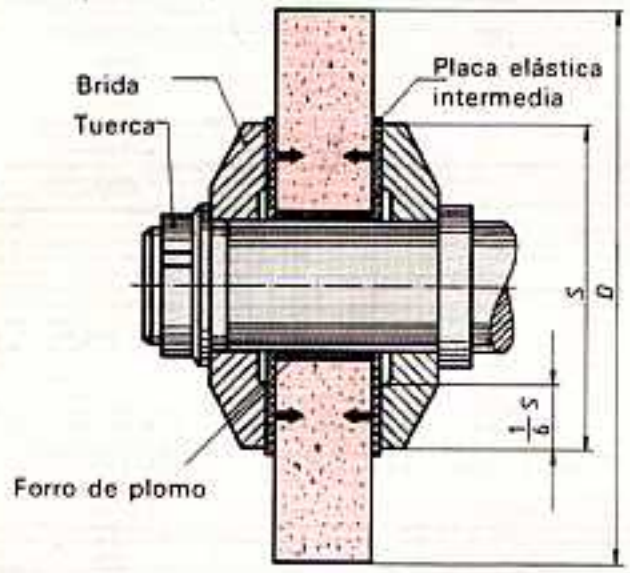


Figura 3-406. Sujeción con bridas del cuerpo de rectificar.

V	Aglomerante cerámico
S	Aglomerante de silicato
R	Aglomerante de caucho
RF	Aglomerante de caucho reforzado con material fibroso
B	Aglomerante de resina sintética
BF	Aglomerante de resina sintética reforzada con material fibroso
E	Aglomerante de goma laca
Mg	Aglomerante de magnesita

Ejemplo: Disco abrasivo DIN 69120-A 400 × 50 × 127-A60K5 V-60

Designación de un disco abrasivo con forma de corona A, de diámetro exterior $d_1 = 400$ mm, anchura $b = 50$ mm, orificio $d_2 = 127$ mm, abrasivo corindón A, grano 60, grado de dureza K, consistencia 5, con aglomerante cerámico V, para velocidad periférica hasta 60 m/s.

SUJECIÓN DEL CUERPO RECTIFICADOR

Los cuerpos de rectificar giratorios, con una velocidad periférica elevada, entrañan un considerable riesgo de accidente. Solamente observando todas las prescripciones de prevención de accidentes, establecidas y publicadas por las Asociaciones Profesionales, se pueden evitar dichos riesgos. La infracción a las normas da lugar a responsabilidad civil y penal.

Extracto de algunas normas: La sujeción de los cuerpos de rectificar sólo podrá ser realizada por personal experimentado y responsable.

1. Comprobación del cuerpo de rectificar antes de su fijación

Todos los cuerpos de rectificar deben someterse, libremente suspendidos, a una prueba de sonido antes de ser fijados a la máquina. Los cuerpos de rectificar defectuosos no deben ser utilizados. Se sujeta el disco por su orificio y se le golpea ligeramente. El tono del sonido debe ser claro, sin tintineos ni crepitaciones.

2. Sujeción con bridas

Los cuerpos de rectificar deben fijarse con bridas de fundición gris, acero o similares, a menos que el tipo de trabajo o el cuerpo mismo de rectificar no exijan otra clase de sujeción. Las bridas deben tener diámetros iguales para que el disco no esté sometido a flexión y se rompa. Al disco debe fijarse sólo una superficie anular.

El diámetro de la rida s se rige por el diámetro D del disco abrasivo y debe exceder de:

a) 1/3 D cuando se empleen cubiertas de protección.
b) 2/3 D cuando no se empleen cubiertas de protección y en vez de ello se sujete el disco con placas intermedias nuevas de goma.
c) 1/2 D para discos cónicos.

Entre el cuerpo de rectificar y las bridas de sujeción deben intercalarse placas de material elástico (gomas, papel blando, fieltro, cuero o similares). Estas placas intermedias deben igualar las rugosidades de la superficie del disco y conseguir un buen asiento de las bridas para que su fuerza de apriete se distribuya uniformemente sobre el disco.

Una vez montado el cuerpo de rectificar hay que someterlo a una prueba de rodaje de cinco minutos de duración como mínimo y a plena velocidad de funcionamiento. Hay que prever una zona de seguridad adecuada.

3. Cubiertas de protección

Las máquinas rectificadoras deben estar equipadas con cubiertas de protección reajustables y de un material resistente tal como acero, fundición de acero o fundición maleable.

Las cubiertas de protección deben reajustarse de acuerdo con el desgaste del cuerpo de rectificar.

Cuando no puedan utilizarse las cubiertas de protección, se emplearán discos cónicos o rectos con las placas intermedias de goma prescritas.

4. Equilibrado

Los elementos de máquinas o las herramientas con velocidades periféricas altas deben equilibrarse para evitar que el desequilibrio existente produzca vibraciones que perjudiquen la calidad del trabajo o el acabado de la superficie y destruyan los cojinetes del husillo.

Los discos de rectificar deben equilibrarse ya preparados para la sujeción, con bridas y husillo, en caballetes o mejor en balanzas equilibradoras. Los discos de rectificar grandes y de alta velocidad se equilibran dinámicamente, es decir, el desequilibrio se determina haciéndolos girar en máquinas equilibradoras.

5. Rectificado

Los discos de rectificar correctamente seleccionados se afilan por si solos mediante la rotura de los granos abrasivos. Cuando no sucede así y el disco se embota, debe ser rectificado. Para el rectificado de máquinas hay que emplear diamantes de rectificar.

6. Velocidad periférica

Los cuerpos de rectificar no deben sobrepasar la velocidad periférica máxima indicada en la placa de características.

Procedimientos de rectificado (DIN 5889 E)

Los procedimientos de rectificado se diferencian entre sí por las distintas clases de los movimientos de avance y de aproximación, mientras que el movimiento de corte lo realiza siempre la herramienta.

Rectificado plano

El rectificado plano se realiza para conseguir superficies planas. En el **rectificado periférico** la herramienta giratoria realiza el corte con su superficie periférica y en el **rectificado lateral** con una de sus superficies laterales. En el **rectificado longitudinal** la dirección del avance principal es paralela a la superficie mecanizada. En el **rectificado giratorio** el movimiento de avance es circular.

Rectificado cilíndrico

El rectificado cilíndrico se realiza para conseguir superficies cilíndricas circulares.

En el **rectificado cilíndrico exterior y longitudinal** la pieza gira y se desplaza axialmente. El avance longitudinal es, para cada vuelta completa de la pieza, igual a $^2/_3$ de la anchura del disco para que se superpongan las pasadas del disco.

En el **rectificado cilíndrico exterior y transversal** (rectificado en profundidad) la dirección del avance principal es perpendicular (transversal) a la superficie mecanizada. El **rectificado cilíndrico interior** se realiza para rectificar orificios. Son usuales los **rectificados cilíndricos interiores periféricos longitudinal** y **transversal** (rectificado en profundidad). El diámetro del disco no debe sobrepasar los $^2/_3$ del diámetro del orificio para que la superficie de contacto entre el disco y la pieza mecanizada no sea excesivamente grande, a fin de evitar un calentamieto elevado y una mala evacuación de las virutas.

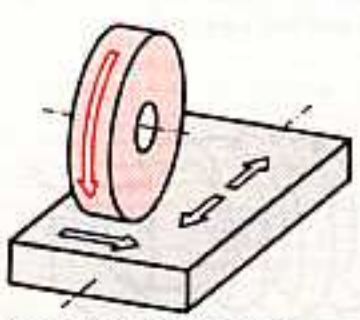


Figura 3-407 Rectificado plano y longitudinal, periférico.

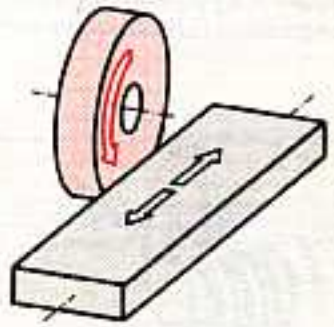


Figura 3-408. Rectificado plano y longitudinal, lateral.

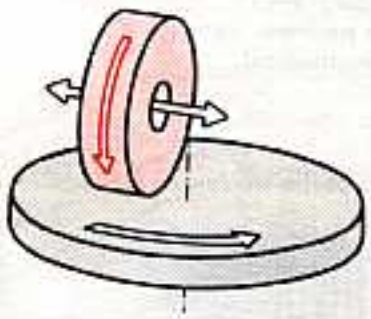


Figura 3-409. Rectificado plano y giratorio, periférico.

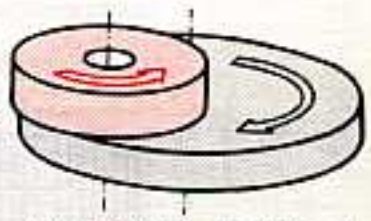


Figura 3-410. Rectificado plano y giratorio, lateral.

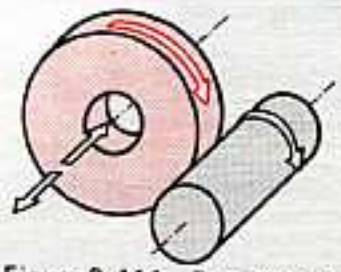


Figura 3-411. Rectificado cilíndrico, exterior y periférico, longitudinal.

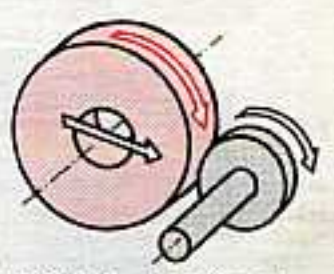


Figura 3-412. Rectificado cilíndrico, exterior y periférico, transversal.



Figura 3-413. Rectificado cilíndrico, interior y periférico, longitudinal.

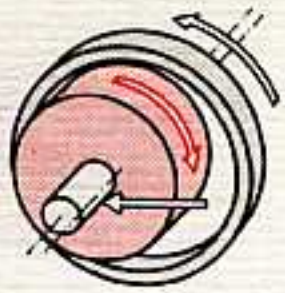


Figura 3-414. Rectificado cilíndrico, interior y periférico, transversal.

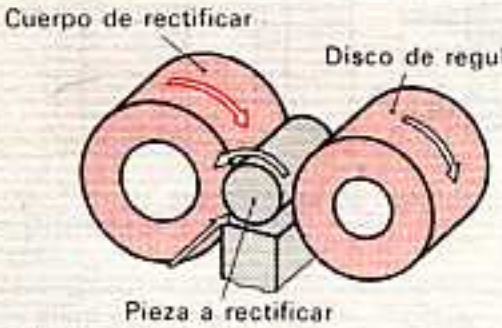


Figura 3-415. Rectificado cilíndrico, exterior, periférico y longitudinal (rectificado cilíndrico sin centros).

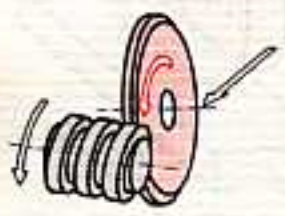


Figura 3-416. Rectificado helicoidal, exterior y longitudinal.

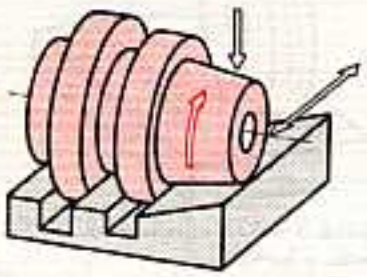


Figura 3-417. Rectificado de perfiles, exterior y longitudinal.

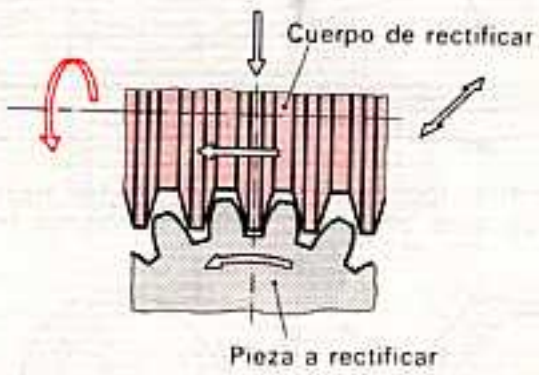


Figura 3-418. Rectificado por generación, continuo.

Reglas de trabajo

Se puede rectificar en tres etapas.

Rectificado de desbaste: Arranque de virutas fuerte, mejora de la forma de la pieza mecanizada. Eliminación de estrías.

Rectificado de acabado: Mejora del acabado superficial, medidas finales de acuerdo con ISO-calidad 5.

Rectificado fino: Mejora ulterior del acabado superficial de acuerdo con ISO-calidades 3 y 4.

Para estas tres etapas son apropiados los siguientes discos y profundidades de corte:

Desbaste:	Grano 40 a 60
	Profundidad de corte 10 a 30 μm
Acabado:	Grano 80 a 100
	Profundidad de corte 5 a 15 μm
Acabado fino:	Grano 200 a 300
	Profundidad de corte 1 a 8 μm

Sobremedida para el rectificado. Depende del tamaño de la cota, por ejemplo, el diámetro, y oscila entre 0,1 y 0,6 mm.

Aproximación (profundidad de corte). Según el procedimiento del rectificado varía de 0,002 a 0,03 mm.

Rectificado en seco: El polvo producido debe ser aspirado.

Rectificado húmedo: Para piezas templadas y cuando el disco debe desgastarse poco, se rectifica en húmedo. El líquido refrigerante y lubricante (agua con aditivos de carbonato sódico, jabón, aceite, etc.) descarga el calor y el polvo.

Rectificado de perfiles, rectificado por generación, etc.

Las figuras 3-415 a 3-418 muestran otros ejemplos de rectificado, tales como el cilíndrico sin centros, de roscas, perfiles, por generación. Además son posibles otras muchas combinaciones de rectificados periféricos o laterales con movimientos longitudinal, transversal, giratorio y oblicuo con superficies a mecanizar interiores o exteriores.

RECTIFICADORAS

Las rectificadoras son máquinas herramientas de gran precisión. Las piezas con ellas mecanizadas tienen gran exactitud de forma y medidas y presentan un magnífico acabado superficial. Esto se consigue mediante una construcción especial de la máquina.

1. **Bastidor de las rectificadoras con forma de caja.** Son rígidos y evitan las vibraciones propias.
2. **Soporte preciso del husillo de rectificar.** Se emplean rodamientos pretensado o cojintes de fricción con juego ajustable.
3. **Accionamiento del husillo de rectificar por correas planas** o, para máquinas potentes, correas trapeciales (los engranajes de ruedas dentadas provocan el giro irregular del disco).
4. **Avance de la mesa por accionamiento hidráulico.** Sus ventajas son funcionamiento suave y regulación continua de la velocidad.
5. **Aproximación precisa del carro de rectificado** mediante husillos de rosca fina con compensación de juego y posibilidad de lectura hasta 1 μm.
6. **Protección estanca al polvo de las guías de deslizamiento** con fuelles contra el polvo del rectificado.
7. **Dispositivo de reajuste movido con el carro** para el ajuste exacto y correcto de la forma del disco.

Sujeción de las piezas

En la sujeción de las piezas a rectificar no tiene tanta importancia la absorción de grandes fuerzas de corte como la exactitud de la posición, por lo que se intenta resolver el problema con elementos de fijación sencillos. En el rectificado plano se emplean tornillos portapieza muy precisos o dispositivos especiales de sujeción, aunque en general se utilizan platos magnéticos. Para los electroimanes se necesita corriente continua. Esto presupone gastos adicionales y peligro por fallo de corriente, por lo que se emplean cada vez más las placas de imanes permanentes (independientes de la red). Las piezas sujetas magnéticamente retienen un magnetismo residual que tiene que ser eliminado con aparatos de desmagnetización.

Rectificadora plana con mesa circular

En la mesa circular se fijan varias piezas de la misma altura y se rectifican con avance continuo (ininterrumpido) con la cara frontal del disco de segmentos. Esta máquina es particularmente apropiada para la producción en serie.

Rectificadora plana con mesa larga

En ella se rectifican superficies planas con la periferia del disco o ranuras con los laterales del mismo. La mesa está soportada por guías de deslizamiento en el bastidor con forma de caja. Es accionada hidráulicamente. Con los topes colocados en la mesa se ajusta tanto la posición como la longitud de la carrera. El carro es desplazable verticalmente sobre las guías de deslizamiento del montante. El propio montante puede desplazarse en sentido transversal al movimiento de la mesa. En ambos tipos de máquinas el carro consta de un motor eléctrico cuyo eje prolongado soporta el disco de rectificar. El motor y los rodamientos del eje están diseñados especialmente para este fin.

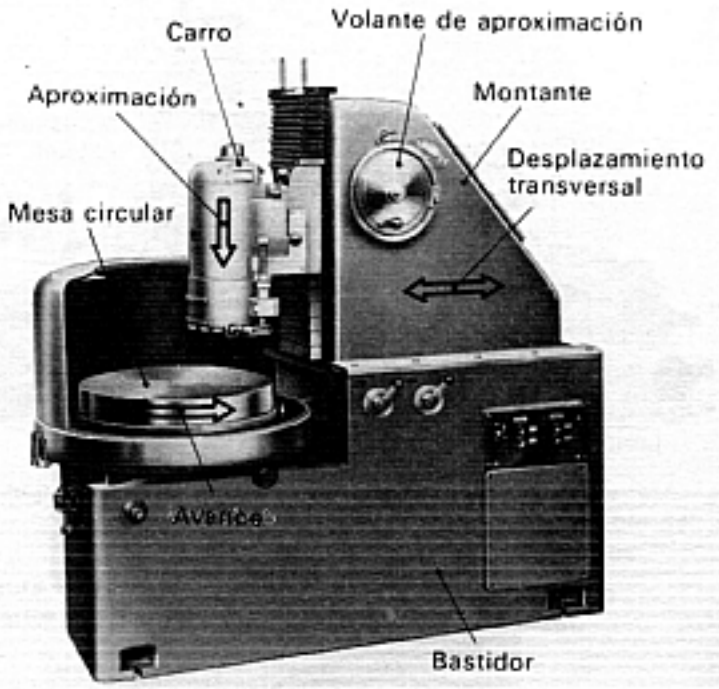


Figura 3-419. Rectificadora plana con mesa circular para rectificado plano, lateral y giratorio.

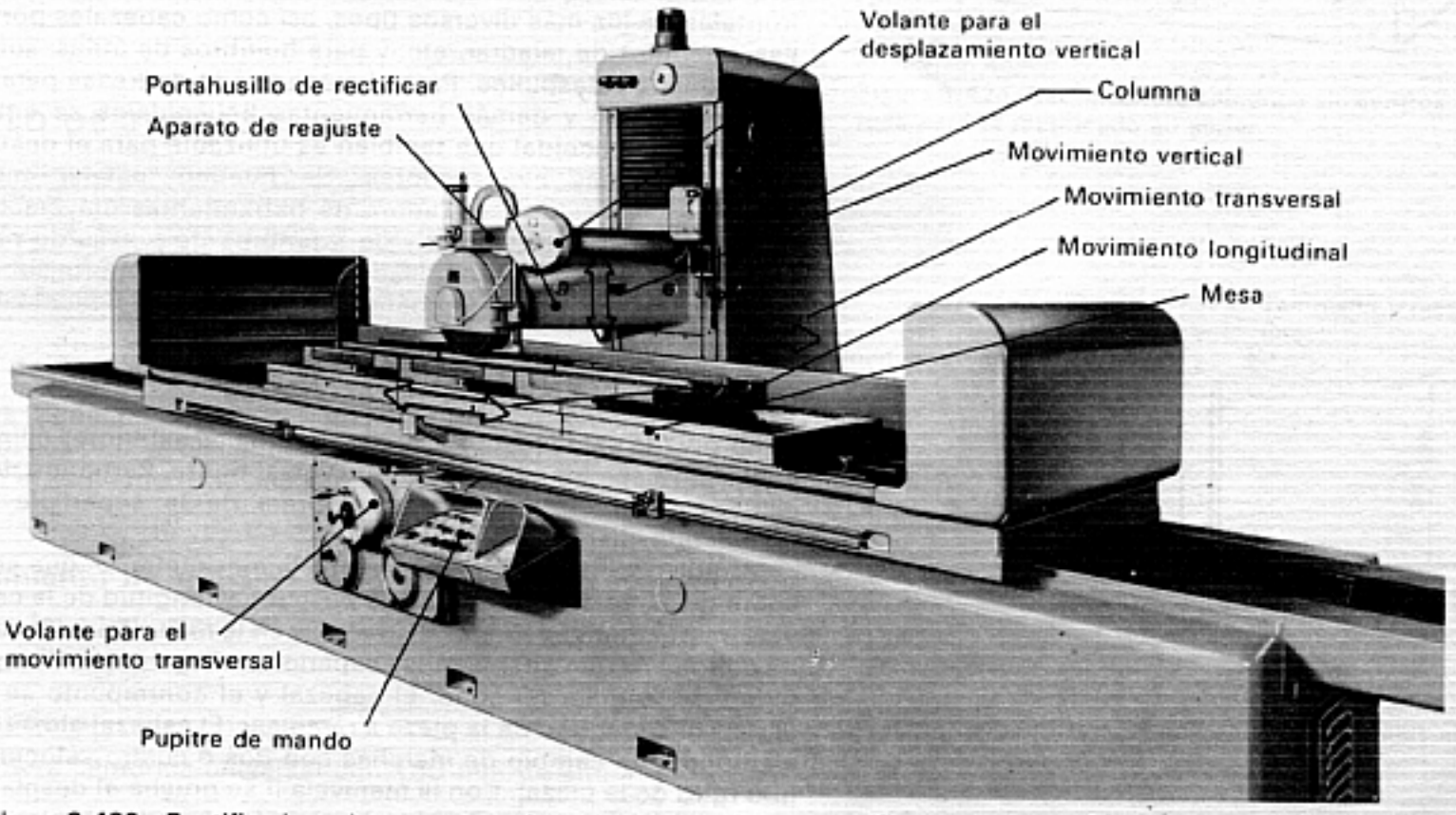


Figura 3-420. Rectificadora plana con mesa larga (representada para rectificado plano, periférico y longitudinal).

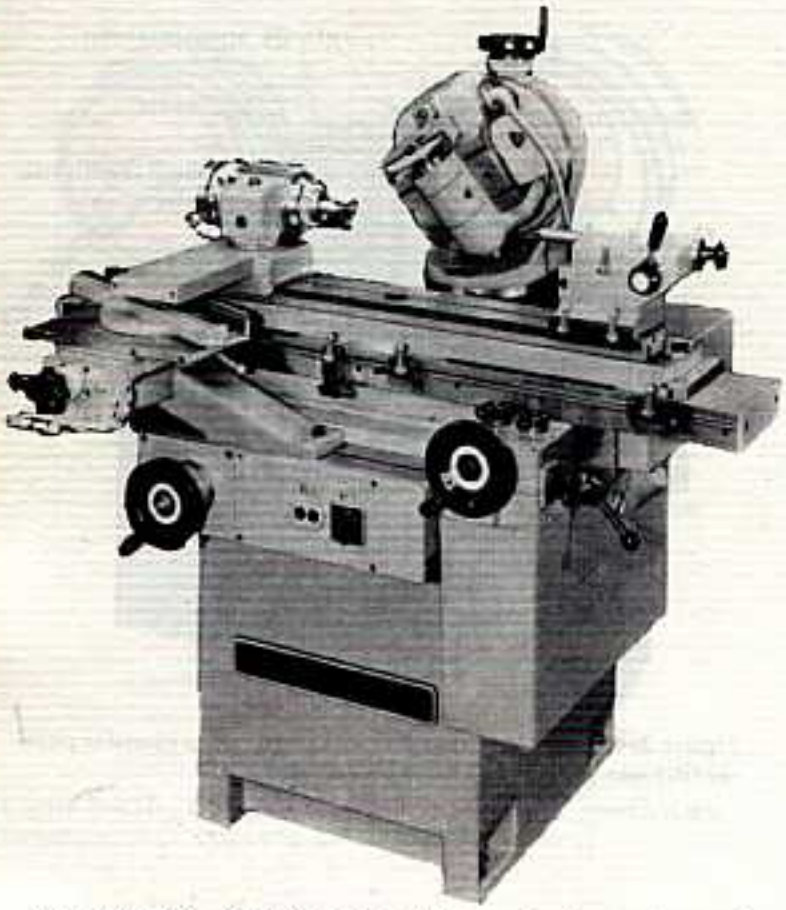


Figura 3-421. Rectificadora de herramientas universal.

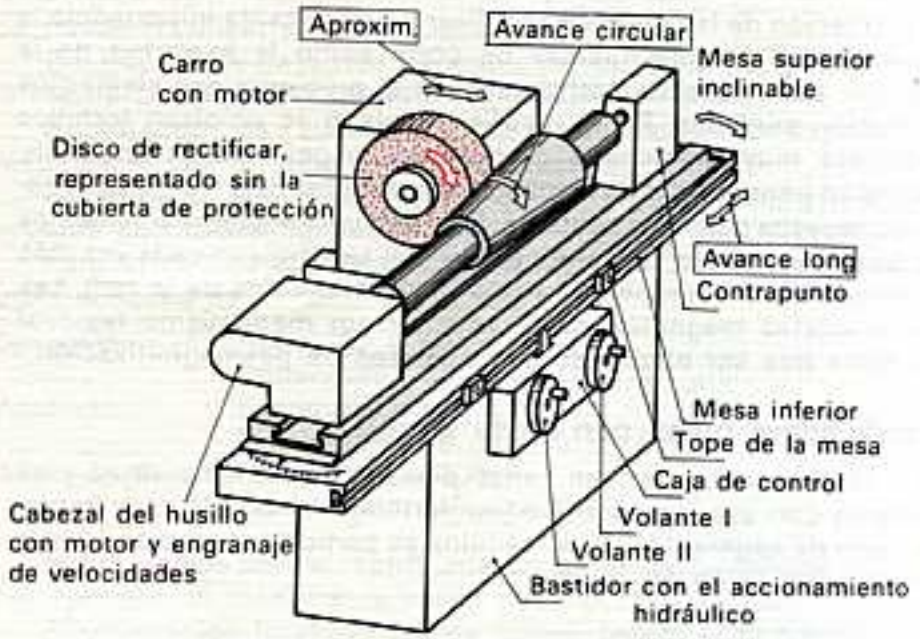


Figura 3-422. Rectificadora cilíndrica de exteriores. Para el rectificado de un cono, se gira la mesa superior un ángulo igual a la mitad del ángulo del cono. La cubierta de protección del disco de rectificar no está representada.

Rectificadora de herramientas universal

La rectificadora universal es una máquina para el afilado de herramientas pequeñas y medianas. Es particularmente apropiada para rectificar herramientas cilíndricas y cónicas con ranurados helicoidales. Puede emplearse además para el afilado de escariadores, avellanadoras, brocas de roscar, fresas cilíndricas, cónicas y frontales de los más diversos tipos, así como cabezales portacuchillas, cuchillas de taladrar, etc. y para hombros de útiles, superficies destalondas y despullos. Para el mecanizado de fresas para fresado por generación y demás herramientas helicoidales se emplea un dispositivo helicoidal que también es utilizable para el destalonado axial de brocas avellanadoras. Se pueden instalar accesorios especiales en esta rectificadora de herramientas universal para el rectificado cilíndrico, plano y de interiores de piezas de pequeñas dimensiones, así como el afilado de los piñones mortajadores para la mecanización de ruedas dentadas cilíndricas y helicoidales.

Rectificadora cilíndrica de exteriores

Es apropiada para el rectificado de superficies exteriores cilíndricas y cónicas, ya sea longitudinal o transversalmente. Partiendo de piezas cilíndricas se obtiene cualquier forma de la superficie exterior empleando discos de perfiles.

Un dispositivo hidráulico acciona la mesa inferior, que se mueve sobre guías de deslizamiento. La posición y longitud de la carrera se ajustan por medio de topes dispuestos en la mesa. Para el rectificado de conos hay que girar la mesa superior un ángulo de valor igual a la mitad del ángulo del cono. El cabezal y el contrapunto se pueden ajustar a la longitud de la pieza a rectificar. El cabezal aloja un motor eléctrico y un cambio de marchas con dos o cuatro velocidades de giro (giro de la pieza). Con la manivela II se prueba el desplazamiento y ajuste de la mesa. Con la manivela I se puede desplazar radial-

mente hacia la pieza el carro con el disco y el motor de accionamiento (aproximación). Se pueden apreciar valores de aproximación de hasta 1 μm en el tambor graduado de la manivela I.

La pieza a rectificar está siempre sujeta entre dos puntos fijos. Con ello se evita la transmisión a la pieza del juego radial de un punto giratorio.

Rectificadora cilíndrica universal

Esta máquina se diferencia de la rectificadora de exteriores cilíndricos normal por el dispositivo de rectificado de interiores montado en el carro para rectificar orificios. Consta de un brazo giratorio en el que se pueden montar husillos de rectificar interiores de distintas longitudes. Un pequeño motor eléctrico acciona el husillo de rectificar interiores por medio de una correa. La pieza a rectificar debe sujetarse de forma que la fuerza de sujeción no la deforme. Por ello se emplean en general mandriles especiales o se rectifican las mordazas del mandril de acuerdo con el diámetro exterior de la pieza mecanizada para conseguir un buen asiento.

Rectificadora cilíndrica sin centros

La pieza a rectificar, sin ninguna sujeción, es guiada entre el cuerpo de rectificar y el droco de regulación, y recibe los avances longitudinal y circular del disco de regulación que gira lentamente y es de aglomeración blanda. Para conseguir el avance longitudinal el disco de regulación debe estar inclinado hacia adelante en un ángulo de hasta 3°: a mayor inclinación corresponde mayor velocidad de avance. Una vez han pasado todas las piezas a mecanizar, hay que aproximar cada vez el disco de regulación. La pieza debe pasar varias veces por la máquina hasta que alcance su medida efectiva. En el rectificado de profundidad el disco de regulación no tiene ninguna inclinación y la pieza es introducida en la máquina mediante un dispositivo especial. El disco de regulación es movido hacia la herramienta con una cruceta de accionamiento hasta que se alcanza la medida efectiva mediante la limitación ejercida por un tope.

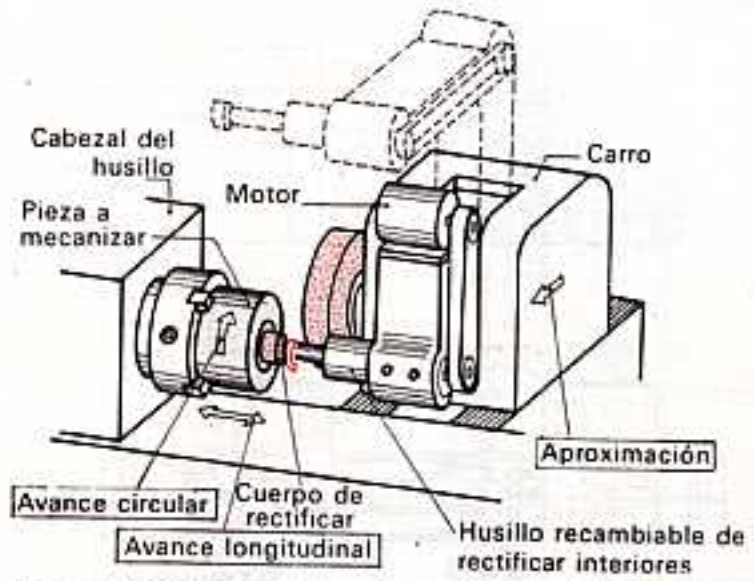


Figura 3-423. Dispositivo de rectificado cilíndrico interior en una rectificadora cilíndrica universal.

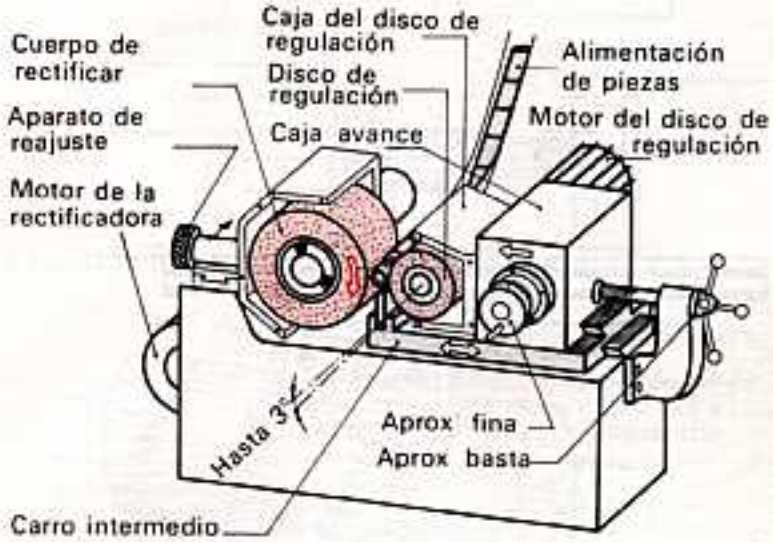


Figura 3-424. Rectificadora cilíndrica sin centros. Preparada para el rectificado en serie.

EJEMPLO DE TRABAJO

Ejercicio: La parte calibrada de un calibre de montaje tiene que ser rectificada a su medida. Los calibres de montaje se emplean, por ejemplo, para el montaje centrado de dos orificios del mismo diámetro.

Estado de la pieza antes del rectificado

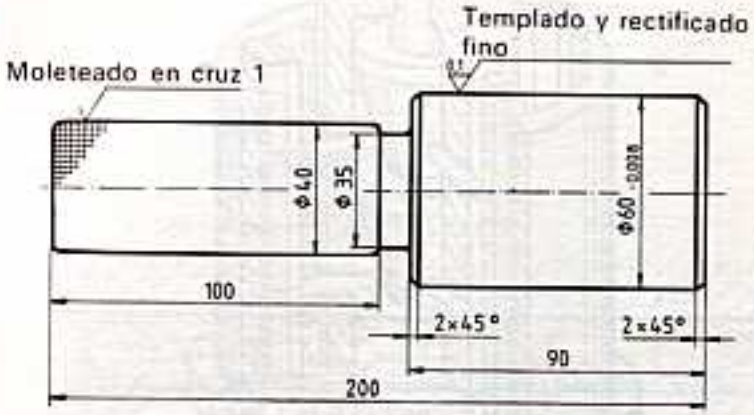
El calibre tiene un rectificado fino en toda su superficie y está templado. Los puntos de centraje están ya taladrados y han sido utilizados en el torneado. Hay una sobremedida de 0,3 mm para el rectificado.

Procedimiento de trabajo

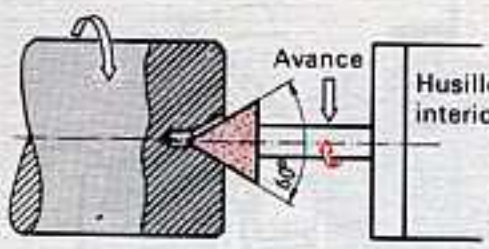
Rectificar longitudinalmente en tres fases: rectificado basto, de acabado y fino.

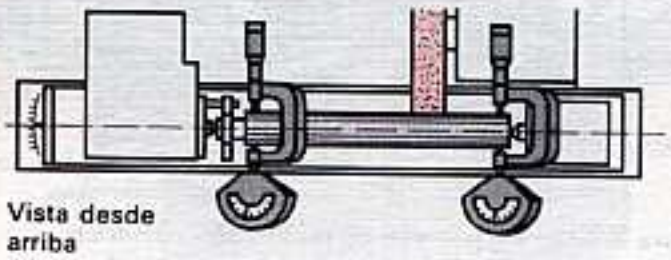
Rectificadora

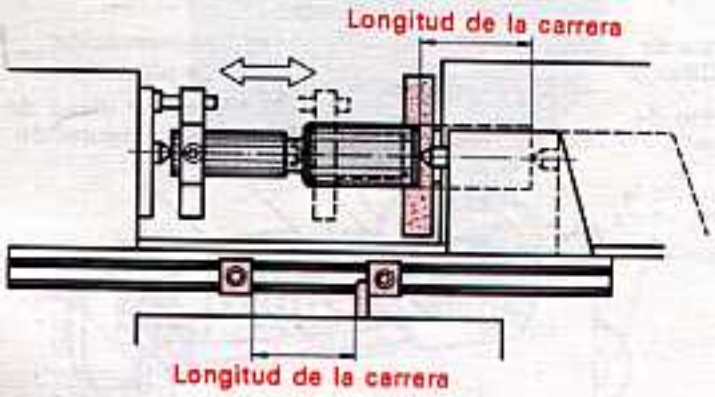
Rectificadora cilíndrica universal con 150 mm de altura de puntos.



Calibre de montaje Acero de herramientas aleado







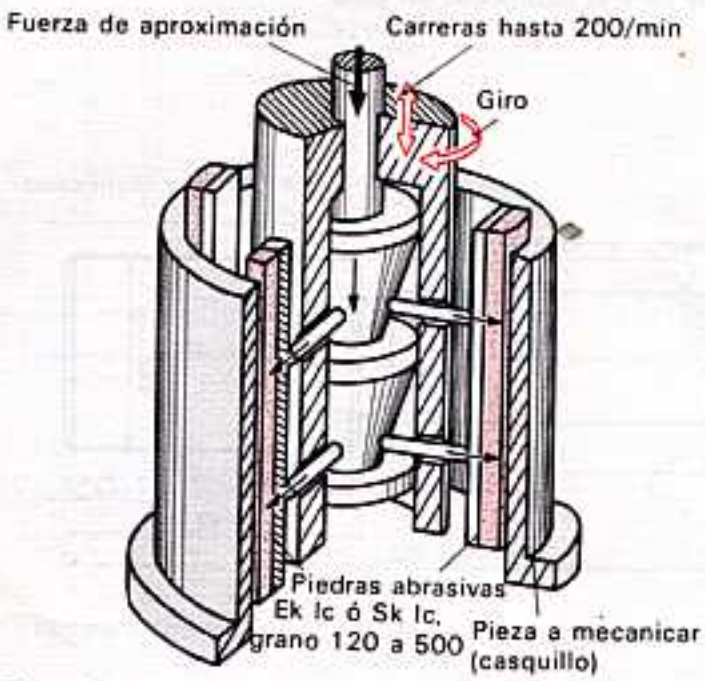


Figura 3-425. Bruñidor de segmentos.

Preparación de la pieza

El calibre debe tener además de una gran exactitud de medidas una gran exactitud de formas. Hay que rectificar los puntos de centraje ya que no siempre son perfectamente redondos y ello influye favorablemente en la exactitud de formas de la pieza rectificada.

Preparación del trabajo de rectificado

1. Seleccionar el disco de rectificar para el desbaste acabado y afinado en una tabla de discos de rectificar. Sujetar y equilibrar los discos.
2. Colocar el disco de desbaste en el husillo de rectificar de la máquina. Comprobar la velocidad de giro más alta permisible y hacer un giro de prueba.
3. Antes de comenzar a trabajar hay que controlar la posición cero de la mesa superior. Con esta finalidad se sujeta entre puntos una espiga de prueba y se le da un rectificado de repaso; esta espiga tiene también rectificados los puntos de centraje y debe estar siempre preparada para este trabajo. Midiendo los diámetros en ambos extremos de la espiga se comprueba si la máquina rectifica cilíndrica o cónicamente.
4. Fijar la velocidad de avance de la mesa en relación con la velocidad de giro de la pieza a rectificar y con la anchura del disco. El avance a cada vuelta de la pieza es menor que la anchura del disco.
5. Fijar la longitud y la posición de la carrera de la mesa. El disco debe rebasar los extremos de la pieza al menos en $^1/_3$ de su anchura.

Sujeción de la pieza

1. Sujetar el perno de arrastre a la pieza a rectificar.
2. Limpiar y desengrasar concienzudamente los puntos fijos y los orificios de centraje.
3. Colocar la pieza a rectificar y apretar con una ligera presión el contrapunto.
4. Girar a mano la pieza y comprobar si gira libremente y sin juego.

Desarrollo del trabajo

1. Desbastar con el disco A 36 K 8 V. Mecanizar en 3 a 5 pasadas con una aproximación de unos 0,02 mm cada pasada hasta dejar una sobremedida de 0,1 mm. Durante el cambio de disco hay que desmontar la pieza rectificada.
2. Acabar con el disco A 46/60 K 8 V. Mecanizar con una aproximación de 0,01 mm cada pasada hasta dejar una sobremedida de 0,02 mm. Para el cambio de disco hay que desmontar la pieza rectificada.
3. Afinar con el disco C 240 J 5 V. Mecanizar con una aproximación de 0,005 mm, intercalando numerosas mediciones, hasta alcanzar la medida final.

BRUÑIDO

El bruñido es un procedimiento de mecanización con arranque de viruta mediante abrasivos compactados. Sirve para la mejora de la forma, de la exactitud de medidas y del buen acabado superficial de la pieza mecanzada.

Según sea el desarrollo de los movimiento se distingue entre bruñido de carrera larga y de carrera corta. Ambos procedimientos pueden emplearse tanto para superficies interiores (orificios) como para exteriores (ejes).

Bruñido de carrera larga. La herramienta (bruñidor) está equipado con cuatro o más piedras abrasivas y realiza al mismo tiempo un movimiento giratorio y una carrera longitudinal. La carrera se realiza de forma que la herramienta rebasa en $^1/_4$ de su longitud, por arriba y por abajo, los extremos de la pieza mecanizada. Estos dos movimientos producen una trayectoria helicoidal. Con ello se mejora, además del acabado superficial, la forma cilíndrica de la superficie mecanizada. Este procedimiento no influye esencialmente en la forma cilíndrica del orificio. Dos conos situados en el interior de la herramienta presionan a la piedras abrasivas hacia la periferia y producen el movimiento de aproximación.

La pieza a mecanizar (un bloque de motor, un casquillo cilíndrico y similares) es movida por debajo de la herramienta mediante la mesa de la máquina con un movimiento según dos ejes perpendiculares. El bruñidor, móvil mediante una articulación de rótula, pende del husillo de la máquina de forma que pueda adaptarse a la posición del orificio a mecanizar. El movimiento rotativo del husillo de la máquina se consigue mediante un motor eléctrico, una caja de velocidades con regulación continua y una transmisión por correa o cadena. El movimiento longitudinal se consigue mediante un accionamiento hidráulico con el que se puede regular la longitud y posición de la carrera y su velocidad.

Para que el bruñidor pueda adaptarse perfectamente al eje del orificio a mecanizar no debe estar unido rígidamente al husillo de la máquina. Para ello se dispone entre uno y otro una articulación de cruceta (articulación Cardan).

Bruñido de carrera corta (rectificado vibratorio). Este procedimiento está caracterizado por un tercer movimiento adicional. Al movimiento giratorio de la pieza mecanizada y al longitudinal de la herramienta (piedra abrasiva) se añade un movimiento vibratorio de la herramienta de 1 a 5 mm de amplitud y 700 a 1500 ciclos/min. La trayectoria es una línea ondulada con desplazamiento helicoidal en la periferia de la pieza mecanizada. La curvatura de la piedra abrasiva se amolda a la de la pieza mecanizada de manera que unido ésto al movimiento triple se mejora la forma geométrica no sólo en sentido del eje del cilindro sino también la forma circular.

En ambos procedimientos se cumple que la longitud y anchura de la piedra abrasiva, y por lo tanto su gran superficie, mejoran la forma de la pieza mecanizada y por el contrario disminuye la presión y con ello aumenta el tiempo de mecanizado.

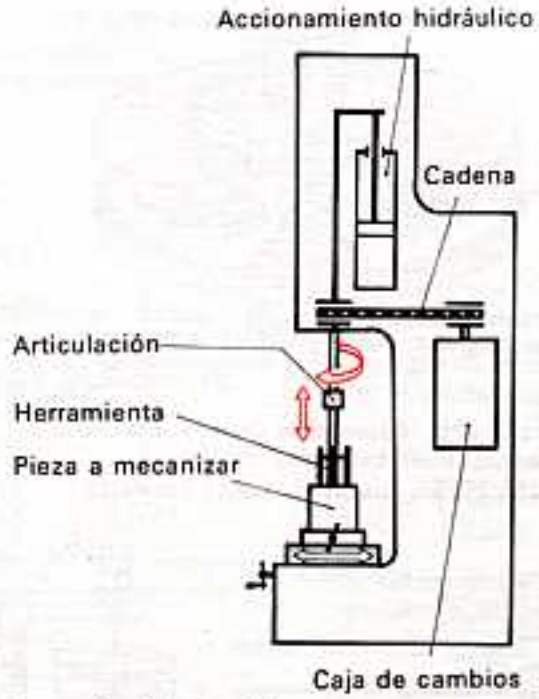


Figura 3-426. Bruñidora.

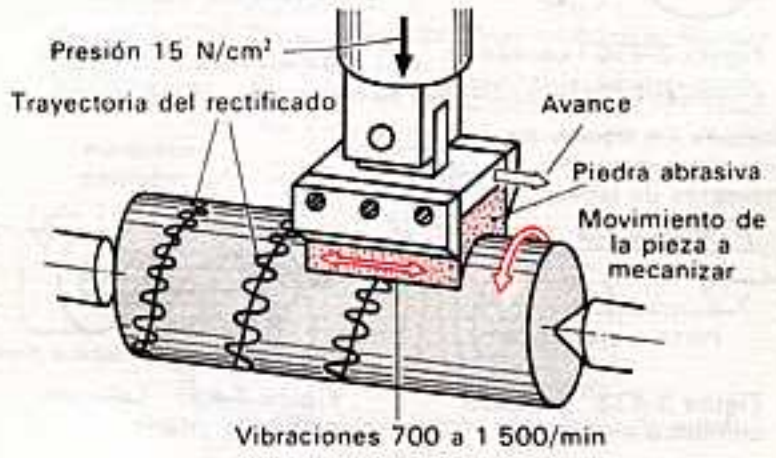


Figura 3-427. Bruñido de carrera corta.

3.6.8 Superacabado y lapeado

LAPEADO

El lapeado es un procedimiento de mecanización con arranque de viruta mediante abrasivos sueltos y sin compactar. Es apropiado para conseguir una exactitud de forma y una calidad de acabado superficial extremas y una estrecha tolerancia de medidas.

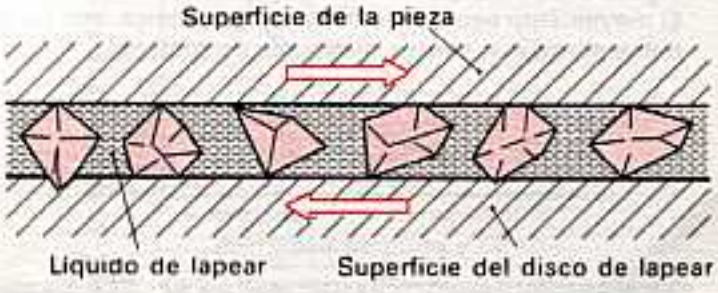


Figura 3-428. Proceso de lapeado.

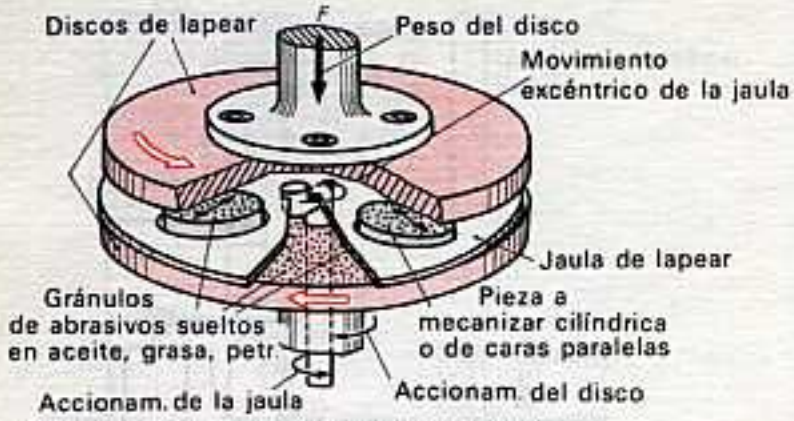


Figura 3-429. Lapeadora de dos discos.
Lapeado cilíndrico: piezas cilíndricas.
Lapeado plano: piezas de caras paralelas.

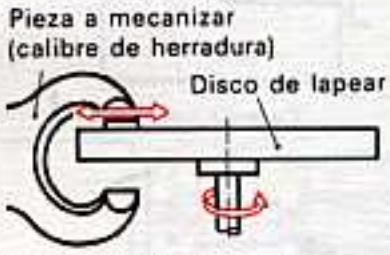


Figura 3-430. Lapeado plano con un solo disco.

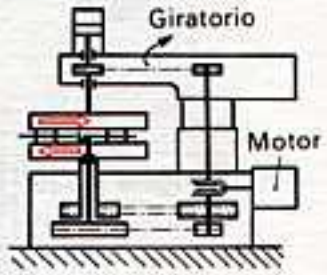


Figura 3-431. Lapeadora.

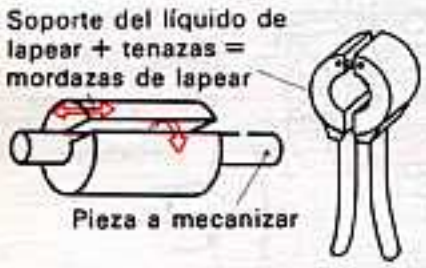


Figura 3-432. Lapeado cilíndrico exterior.



Figura 3-433. Lapeado cilíndrico interior.

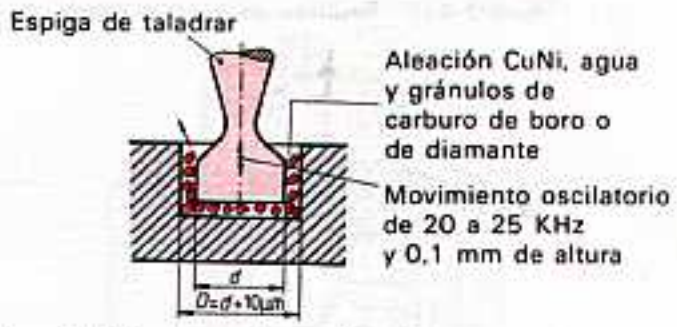


Figura 3-434. Lapeado oscilatorio.
El movimiento oscilatorio de la espiga arranca, con los gránulos abrasivos, virutas diminutas de material.

Proceso de lapeado

El elemento abrasivo en forma de gránulos, carburo de silicio, corindón fino, carburo de boro o diamante, con un tamaño de grano de 18 a 150 µm, se mezcla con un líquido (aceite, petroleo, u otros) conocido como líquido o medio de lapear. Este líquido de lapear, que se introduce entre las superficies de la pieza a mecanizar y la del disco de lapear, las cuales se mueven una contra otra con una pequeña presión, realiza el arranque de viruta en dichas superficies. La superficie de la pieza mecanizada es la más trabajada, porque los gránulos del abrasivo actúan como filos de cuchillas sobre ella, mientras que se asientan en la superficie blanda o porosa del disco de lapear. Otra teoría habla de la rodadura de los gránulos de abrasivo, del tallado de muescas en la superficie, de la compactación del material de la pieza mecanizada y del desprendimiento de diminutas partículas del material de la misma.

Procedimientos de lapeado

Lapeado plano. Sirve para la obtención de superficies planas y se realiza con dos discos o con uno solo. En el procedimiento de lapeado con dos discos se colocan las piezas planas a mecanizar en una jaula entre dos discos que giran en sentidos opuestos. La jaula transmite a las piezas un movimiento radial adicional para que los discos no dejen estrías anulares en ellas.

En el procedimiento de lapeado con un sólo disco se coloca la pieza sobre un disco giratorio y se mueve a mano con una ligera presión en dirección radial y sentidos alternativos.

Lapeado cilíndrico. Las superficies exteriores de piezas redondas pueden ser lapeadas también en las lapeadoras de dos discos. Las piezas se colocan tangencialmente en la jaula y adquieren por medio de su movimiento excéntrico, una gran exactitud de formas.

Para el lapeado cilíndrico exterior se emplea también la mordaza de lapear. La pieza a mecanizar recibe su movimiento de giro por medio de una taladradora o un torno y la mordaza se cierra a mano, ejecutando a la vez una presión y un movimiento en dirección axial.

Para el lapeado cilíndrico interior se emplean mandriles de expansión. El proceso de trabajo es igual al de la mordaza. En ambos casos hay que alimentar continuamente a los útiles con líquido de lapear.

Otros procedimientos de lapeado son lapeado de perfiles, lapeado oscilatorio y lapeado a presión.

3.6.9 Lubricación refrigerante

En el arranque de virutas de piezas metálicas se utilizan productos para lubricación y refrigeración. Su función se designa como lubricación refrigerante.

La energía producida por el arranque de virutas se transforma en calor

Por el arranque de virutas de la pieza a mecanizar y en la zona de corte (1) se origina calor por fricción. Estas fricciones por deslizamiento se producen entre la viruta arrancada y el hombro (2), así como entre la superficie mecanizada de la pieza y la superficie destalonada de la herramienta (3), fricciones que generan calor. La mayor parte de este calor es descargado por las virutas. El resto es absorbido por la

herramienta y por la pieza. La energía de arranque de virutas y con ella el calor producido aumentan con la velocidad de corte y con el empleo de ángulos pequeños de despullo y de ataque.

Efectos del calor sobre la herramienta y la pieza.

Al producirse gran cantidad de calor la pieza a mecanizar se dilata y deforma.

El filo de la herramienta permanece en contacto, por lo que se calienta más que la pieza a mecanizar. Una elevación excesiva de temperatura en la zona de fricción entre la pieza a mecanizar, superficie destalonada y superficie de corte produce un gran desgaste en el filo de la herramienta. Se observan redondeamientos de los cantos y desgastes en las superficies de ataque y destalonamiento.

Ventajas de la lubricación refrigerante

1. Disminución de la fricción entre la pieza a mecanizar y la superficie de ataque de la herramienta, así como entre la viruta desprendida y la superficie destalonada de la herramienta. Esto se consigue por medio del efecto de lubricación y refrigeración del líquido de corte.
2. Descarga del calor de la zona de desprendimiento; se consigue por el efecto refrigerante del aceite de corte.
3. Limpieza de la zona de corte, de forma que la viruta desprendida no interfiera en el proceso de arranque de viruta.

Mediante la refrigeración y lubricación se alarga por lo tanto, la duración de la herramienta y se reduce la profundidad de las rugosidades de la superficie de la pieza mecanizada. La potencia requerida por la máquina herramienta es menor y se puede trabajar con velocidades de corte mayores.

En trabajos de desbaste el efecto de refrigeración es el más favorable, dada la gran cantidad de viruta arrancada; en trabajos de acabado lo es el efecto de lubricación, ya que permite conseguir el propósito de una superficie limpia.

Los **productos** usuales para la lubricación y refrigeración en el mecanizado de metales por arranque de viruta son las **emulsiones de lubricación refrigerante** (aceite mineral en agua).

Las emulsiones (del latín emulgere = ordeñar) son conglomerados de líquidos no miscibles entre sí. Se utilizan aceites minerales y agua. Los aceites minerales se obtienen del petróleo por medio de su descomposición por destilación (separación por vaporización) y refinado (purificación), así como las gasolinas, querosenos, gasoils, asfaltos y aceites lubricantes.

En la emulsión las gotas de aceite están en suspensión en el agua siendo el aceite el que produce el efecto de lubricación y el agua el de refrigeración. Mediante aditivos se consigue que las moléculas se adhieran a la superficie del metal formando una película lubricante permanente.

La emulsión debe cubrir toda la zona de corte con un chorreo uniforme y a poca presión.

No deben arrojarse al alcantarillado estas emulsiones.

La suciedad, el envejecimiento y la acidificación reducen la capacidad de lubricación. Hay que prever por lo tanto, depósitos de aceites suficientemente grandes y con posibilidad de limpieza.

No utilizar la emulsión para lavarse las manos, ya que existe el peligro de enfermedades cutáneas por ataque de bacterias.

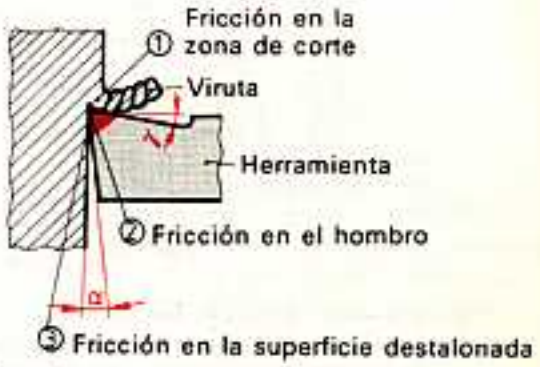


Figura 3-435. Transformación de la energía de arranque de viruta en calor.

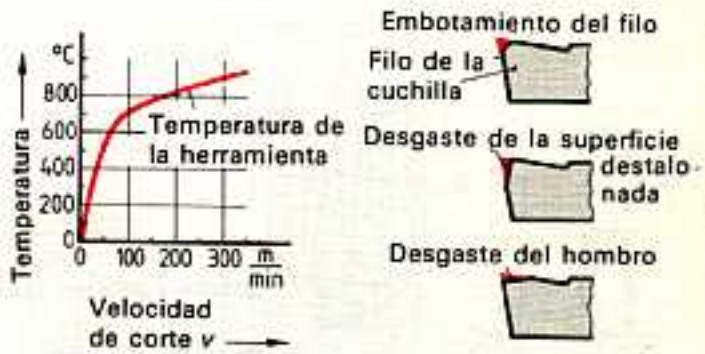


Figura 3-436. Temperatura de la herramienta en función de la velocidad de corte (izda.).
Figura 3-437. Aparición de desgastes en la herramienta.

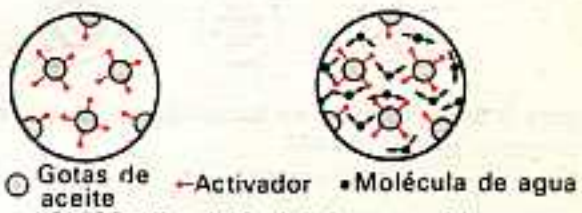


Figura 3-438. Emulsión lubricante refrigerante.

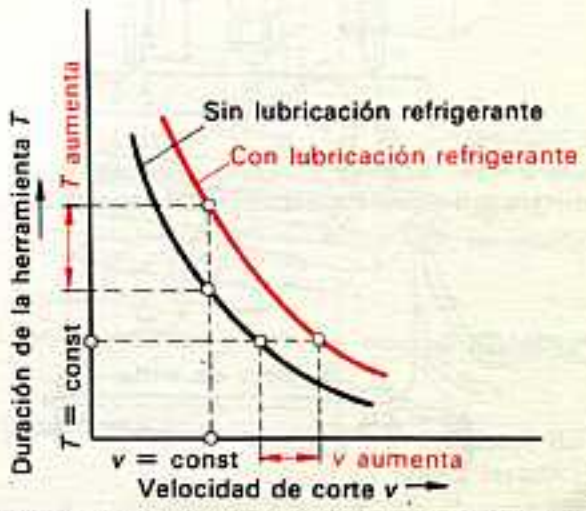


Figura 3-439. La lubricación refrigerante prolonga la vida de la herramienta y aumenta la velocidad de corte posible.

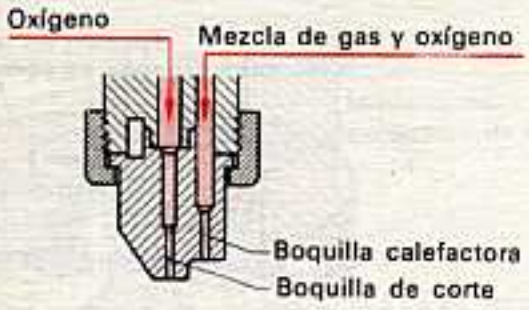


Figura 3-440. Boquilla escalonada.
Ventaja: Como el precalentamiento sólo se realiza en el sentido de corte, la influencia del calor en el contorno de la zona de corte es escasa y el canto del corte es vivo.

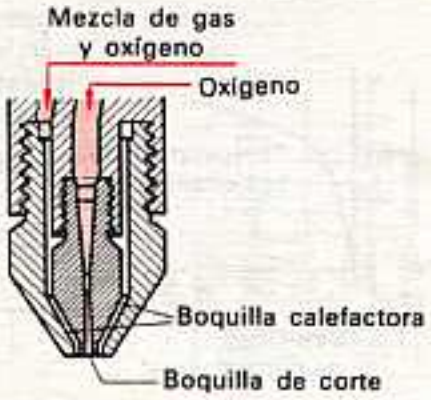


Figura 3-441. Boquilla anular.
Ventaja: Como consecuencia del precalentamiento por todos los lados, el corte se puede realizar en cualquier dirección.



Figura 3-442. Formas de boquillas de corte escala 1:1.

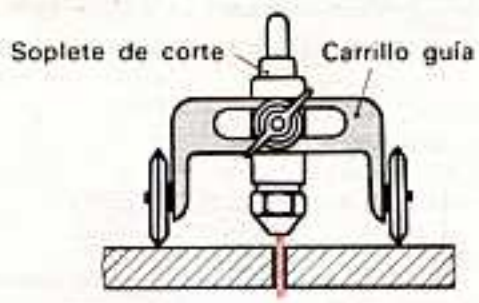


Figura 3-443. Soplete de corte con carrillo de guía.
La distancia del soplete depende del espesor de la pieza.

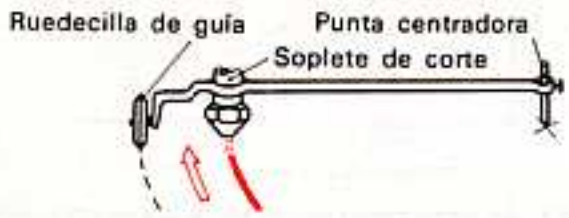


Figura 3-444. Dispositivo sencillo para cortes circulares.

3.7 Separación por erosión

3.7.1 Erosión térmica

Según la norma DIN 8590 se entiende por erosión un procedimiento de fabricación en el que se arrancan partículas del material por medios no mecánicos. Hay que distinguir entre erosión térmica, química y electroquímica.

Erosión térmica es la separación de partículas por la acción del calor, mediante un medio como el gas, la chispa eléctrica, el arco voltaico, rayos luminosos, rayos láser o rayos iónicos, etc. Aplicación: Moldeo de materiales extremadamente duros, generación de aperturas microscópicamente pequeñas en microelectrónica, etc.

EROSIÓN TÉRMICA POR GAS

En el apartado 3.13.2 «Soldadura por fusión a gas», se describen y representan gráficamente los gases, grifería, aparatos e instalaciones necesarios para la aplicación de este procedimiento.

Proceso de erosión

En la **separación por erosión térmica** (denominada también en la práctica **oxicorte**), el material se erosiona por medio de una llama de gas y oxígeno. Es condición necesaria que el material se inflame y arda a una temperatura inferior a la de su punto de fusión. (Obsérvense las chispas que saltan del acero en la fragua — esto es arder.) Esta condición la cumple el acero que contenga hasta un 1,6% de C; en efecto, su temperatura de fusión es de unos 1 500°C, superior a la del óxido, que es de 1 350°C. Por esta razón, sólo se funde el óxido que es expulsado de la ranura de fusión.

Como la temperatura de ignición del acero aumenta al aumentar su contenido de carbono y, por otra parte, disminuye la temperatura de fusión, no se cumplen ya en la práctica las condiciones para la combustión del material cuando el contenido de carbono excede del 1,6%.

Soplete cortador

Está formado, en principio, por la tobera calefactora y la tobera de corte. En general están colocadas en anillo. Con un carro-guía, en los cortes circulares con dispositivo centrador se consigue un corte uniforme con distancia invariable de la tobera a la pieza a cortar. También se utilizan máquinas de cortar que pueden incluso trabajar con mando electrónico de acuerdo con planos y negativos fotográficos.

Trabajos de corte

La distancia de las toberas a la pieza ha de graduarse de modo que el cono de la llama no alcance a la pieza. Cuando la zona de corte llega al amarillo se abre la válvula del oxígeno de corte y en ese momento comienza el corte propiamente dicho.

La velocidad de corte, la distancia de las toberas, el tamaño de las toberas de corte y caldeo y la presión del oxígeno se eligirán de acuerdo con el espesor de la pieza. La sobrepresión del gas combustible debe ser de 0,1 a 0,4 bar, la del oxígeno, para chapas de espesor inferior a 100 mm, será de 3 a 7 bar. Cuando el corte se haga bajo

el agua, en la zona de la llama deberá haber una presión suficiente para la expulsión del agua.

Aplicaciones

En la construcción de depósitos: cordones en V y doble V. En las construcciones metálicas: corte de las vigas con sopletes manuales. En la construcción mecánica predomina el corte de máquinas. En construcción naval: preferentemente se utiliza el corte programado. En la industria chatarrera: normalmente se aplican los sopletes manuales. En el montaje de tuberías: corte de tubos para derivaciones.

EROSIÓN TÉRMICA POR CHISPA ELÉCTRICA (ELECTROEROSIÓN)

La erosión por chispa eléctrica o electroerosión, es un procedimiento de fabricación en el que las chispas eléctricas aportan el calor y la energía mecánica necesarios para producir la erosión de partículas pequeñas del material.

Proceso de erosión

En la erosión con chispa eléctrica, la herramienta y la pieza se conectan a un generador de continua y se aproximan entre sí lo suficiente para que salten chispas eléctricas entre los dos materiales eléctricamente conductores. Estas chispas producen, por medio de formación de aglomeraciones fusión y vaporización, unas pequeñas depresiones en forma de cráter, tanto en la pieza como en la herramienta. Para que la descarga eléctrica de cada chispa se produzca en un espacio limitado, se expulsen las partículas arrancadas del material y para lograr la necesaria refrigeración del material y de la herramienta, se desarrolla todo el proceso dentro de un líquido no conductor, el dieléctrico. Los líquidos apropiados son el petróleo, el aceite de transformadores o el agua desionizada. El proceso de erosión se desarrolla simultáneamente en la pieza y en la herramienta. Utilizando para ésta determinados materiales, como el cobre, grafito, aleaciones de cobre y cinc (latón) o de tungsteno y cobre, la proporción de erosión puede modificarse hasta un 99,5% en la pieza y un 0,5% en la herramienta. Modificando la energía eléctrica aportada se regula la cantidad de erosión, el tiempo activo y la calidad de la superficie a las condiciones deseadas. Mayor aportación de energía da descargas mayores que actúan con más violencia y con mayor erosión, cráteres más grandes y, por tanto, una superficie más irregular en la pieza (desbaste). Una menor aportación de energía produce los efectos contrarios (alisado).

Instalaciones de electroerosión

Además de la máquina propiamente dicha, en la que se aloja la pieza y la herramienta y las mueve, se necesita un depósito de dieléctrico, con bomba de impulsión y filtro, y una instalación eléctrica. En el generador de impulsos se produce una corriente continua de 80 a 300 V que se transmite a la pieza y a la herramienta a través de un emisor de impulsos con frecuencias de 0,2 a 500 kHz.

Máquinas de electroerosión para taladrar y fresar

Estructura: bastidor de la máquina con mesa móvil en cruz como portapiezas. En la parte superior del bastidor va el cabezal de la máquina, que puede regularse verticalmente, como portaherramientas. Las



Figura 3-445. Representación esquemática del proceso de erosión.

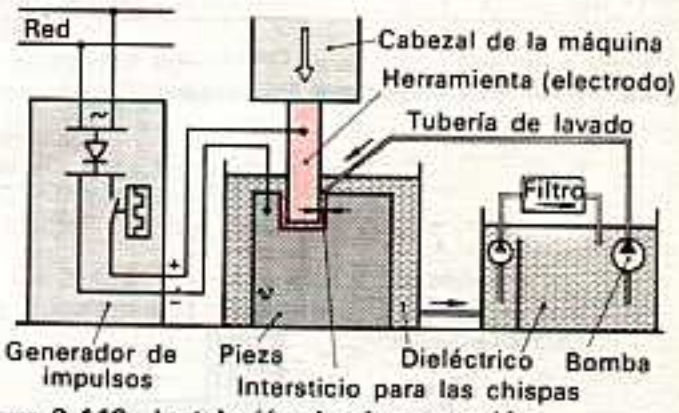


Figura 3-446. Instalación de electroerosión.

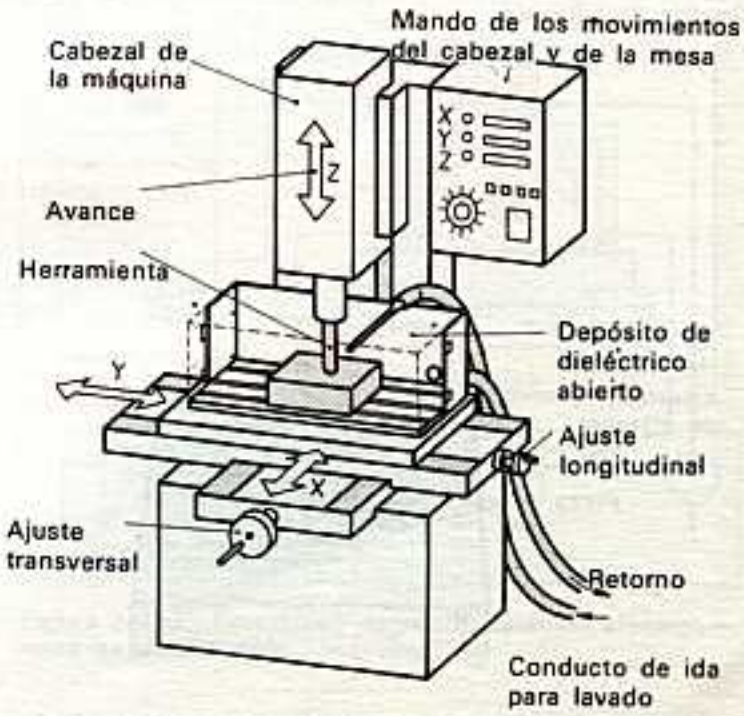


Figura 3-447. Máquina para erosión por chispas para taladrar y rebajar.

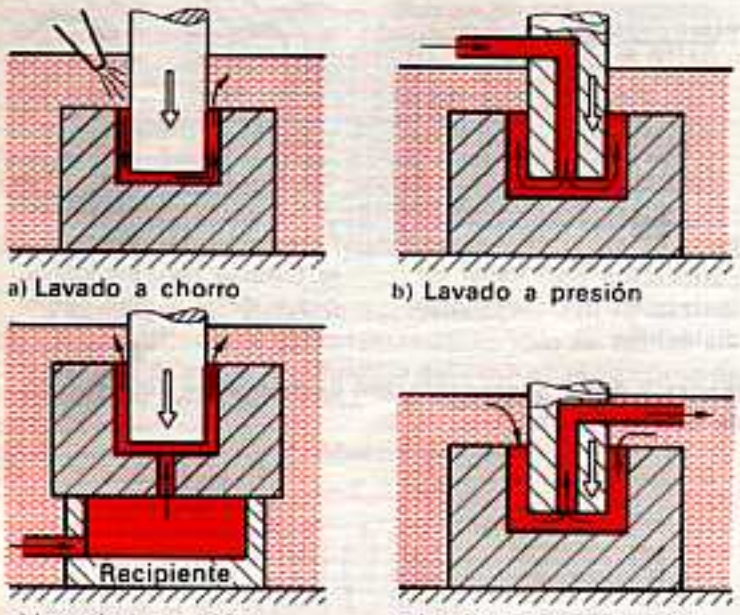


Figura 3-448. Procedimientos de lavado.

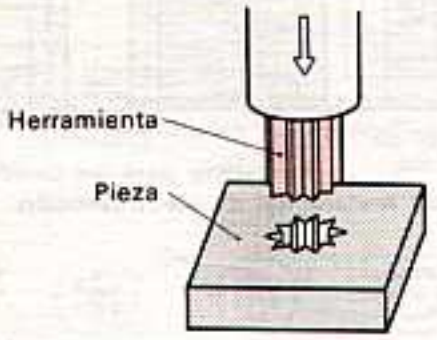


Figura 3-449. Taladrado por electroerosión de una matriz de estirado.

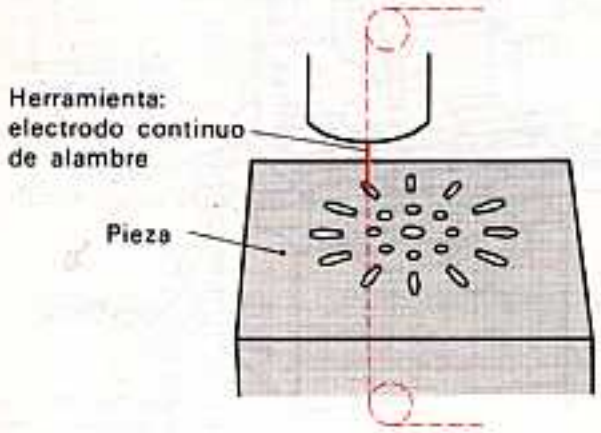


Figura 3-451. Corte por electroerosión con electrodo de alambre continuo.

máquinas modernas llevan un control numérico con el que pueden accionarse según un programa los movimientos a lo largo de los tres ejes X, Y y Z.

Lavado

Para que no puedan formarse, dentro del dieléctrico, puentes conductores entre la herramienta y la pieza que impedirían la formación de chispas, el material erosionado de la pieza debe eliminarse inmediatamente por medio de un buen lavado. Según la forma y tamaño de los electrodos se pueden utilizar los lavados en chorro, a presión o por aspiración. En los casos más difíciles se combinan estas posibilidades y se facilita el proceso de lavado levantando de vez en cuando los electrodos.

Procedimiento de trabajo

La gran ventaja de la electroerósión consiste en que puede aplicarse a todos los materiales que sean buenos conductores eléctricos, cualquiera que sea su dureza, con buenos resultados tanto en forma como en acabado superficial. Pueden mecanizarse de acabado así todos los tipos de metales duros y los aceros templados para herramientas. Se pueden evitar totalmente las temidas deformaciones y fisuras de temple en la fabricación de placas de corte o de matrices de embutición.

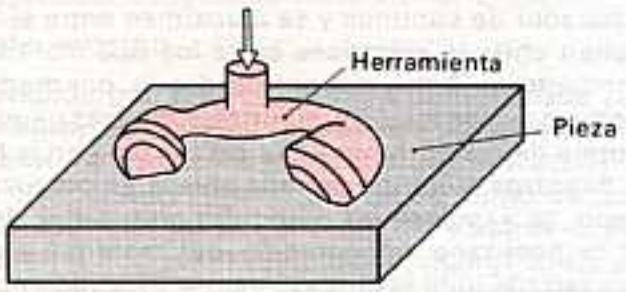


Figura 3-450. Moldeo por electroerosión de un semimolde para plásticos.

El taladrado por electroerosión es un procedimiento sencillo en el que el electrodo, en forma de varilla o de alambre, penetra perpendicularmente en la pieza. De esta manera pueden practicarse orificios de cualquier forma. Si al electrodo de varilla se le da un movimiento excéntrico alrededor de su eje vertical, pueden practicarse con él orificios de diversos tamaños. Si se reduce la excentricidad de manera continua manteniendo el avance en dirección vertical, se obtiene un taladro de forma cónica.

La embutición por electroerosión se utiliza preferentemente para fabricar estampas de forja y moldes de acero para máquinas de moldeo por inyección para metales no férreos y para plásticos. También en este caso se puede trabajar con un material ya bonificado o templado. Los electrodos de grafito o metálicos se fabrican por procedimientos usuales como colada, prensado, arranque de virutas a mano o a máquina, etc.

Corte por electroerosión. Se utiliza también en construcción de herramientas para fabricar matrices y estampas de formas complicadas. El electrodo de alambre continuo, de menos de 1 mm de diámetro (o menor, hasta 0,2 mm) permite cortes de la forma deseada y de cantos suficientemente vivos. Por medio de la mesa en cruz de la máquina, que puede moverse manualmente o por mando de computadora con la pieza sujetada, pueden cortarse todas las formas imaginables, regulares o irregulares. La precisión de la forma y la exactitud de la posición dependen, como siempre, de la calidad de la máquina.

3.7.2 Erosión electroquímica

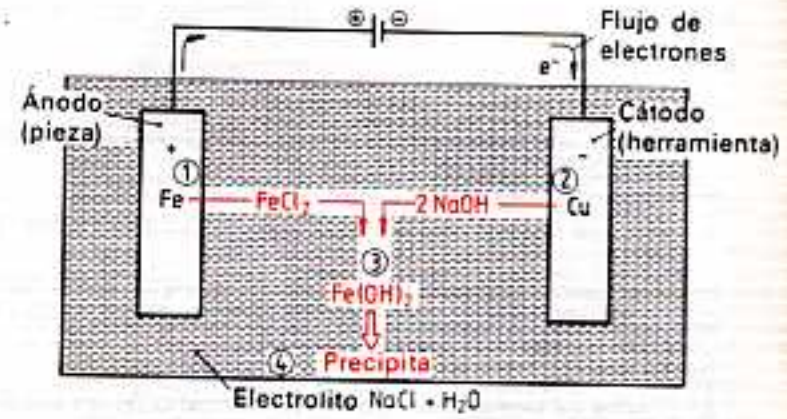
En el procedimiento de fabricación por erosión electroquímica (Erosión EQ), el material metálico de la pieza se erosiona anódicamente por efecto de una corriente eléctrica continua y una solución electrolítica.

Principio de funcionamiento

La erosión del material se efectúa en una «célula electrolítica» que consta de dos electrodos metálicos y un electrolito. El electrolito es un líquido buen conductor de la electricidad como, por ejemplo, una solución de sal común ($NaCl + H_2O$), o una solución de nitrato sódico ($NaNO_3 + H_2O$) que baña a ambos electrodos.

Se aplica una corriente continua de modo que la pieza que se ha de erosionar, por ejemplo Fe, haga de electrodo positivo o ánodo y el otro electrodo, por ejemplo cobre, sea el cátodo o negativo.

Al pasar la corriente eléctrica por el líquido conductor, el ánodo positivo reacciona con los iones negativos del electrolito. Se forman sales metálicas que se disuelven en el electrolito. El ánodo se disuelve.



Ánodo:
Formación de cloruro férrico
$Fe + 2Cl \rightarrow FeCl_2$

Cátodo:
Formación de lejía:
$2Na + H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2\uparrow$ **(se desprende)**

Disolución:
Formación de hidróxido férrico
$FeCl_2 + 2NaOH \rightarrow 2NaCl + Fe(OH)_2$
el hidróxido férrico $Fe(OH)_2$ precipita

Figura 3-452. Principio de funcionamiento electroquímico.

Procedimiento de trabajo

Se conocen muchos procedimientos electroquímicos, como el torneado EQ, el rectificado EQ, el desbarbado EQ, el bruñido EQ, el lapeado EQ, el taladrado EQ, etc. que a veces se aplican en compañía de arranque de viruta, especialmente cuando la delgadez de paredes de la pieza no soportaría el arranque mecánico de viruta, o cuando hay que evitar tensiones internas en las capas exteriores. Además de estos procedimientos tiene gran importancia la embutición EQ. Una instalación de embutición EQ está formada por la máquina propiamente dicha con el dispositivo de embutir, el generador con su dispositivo de mando y la alimentación y preparación del electrolito.

Máquina. Soporta la pieza anódica sujeta a una mesa en cruz. En el cabezal de la máquina, con movimiento vertical (s = 0,1 a 20 mm/min) se encuentra sujeta la herramienta catódica. La máquina ha de ser muy robusta porque se producen esfuerzos muy grandes.

Dispositivo de embutición. Forma un espacio cerrado alrededor de la pieza y de la herramienta: por este espacio circula el electrolito a la presión de 5 a 50 bar.

Generador. Suministra la corriente continua de 20 a 30 voltios. Además, la parte eléctrica de la instalación incluye los dispositivos de mando y regulación para la tensión, la intensidad, la desconexión por cortocircuitos, el funcionamiento de la máquina y la alimentación de electrolito.

Alimentación y regeneración del electrolito. Incluye: regulacion de la temperatura, de la presión y del valor del pH (concentración de iones hidrógeno) y la eliminación del material producido por la erosión de la pieza.

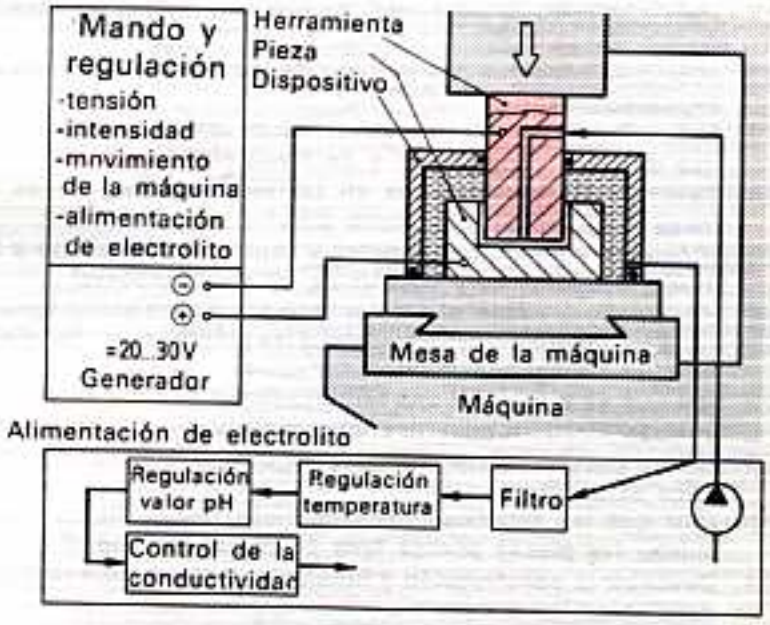


Figura 3-453. Estructura de una instalación electroquímica de embutición.

Aplicaciones

Este procedimiento, que es muy caro, sólo puede aplicarse en aquellos casos en que se exijan condiciones especiales que resultan de la forma de la pieza, de exigencias particulares respecto del estado final de los materiales y las características de la superficie que no se puedan cumplir con otros procedimientos. Ejemplos de aplicación:

Rotores de turbina a partir de la pieza maciza, X 20 Cr Mo V 12 1
Anillos de molde para briquetas, 50 Cr V 4
Levas, prótesis de acero para caderas, etc.

Ejercicios

Separación por arranque de virutas con máquina

Rectificado

1. ¿De qué se compone un disco abrasivo?
2. ¿Cuáles son los cinco datos que determinan la composición del disco abrasivo?
3. ¿Cómo arranca viruta un disco abrasivo?
4. ¿Por qué proceso mantiene una muela su efectividad (al rectificar)?
5. ¿Qué funciones tiene el aglomerante en un disco abrasivo?
6. Explicar la denominación: Disco abrasivo DIN 69 120 - A 300 × 40 × 127 - C 90 M8V-60.
7. Dibujar algunas formas de cuerpos de rectificar.
8. ¿Cómo se comprueba, antes de colocarlo, si un disco abrasivo tiene grietas?
9. ¿Por qué han de tener el mismo diámetro las dos bridas de sujeción para el montaje de un disco abrasivo?
10. ¿Por qué hay que colocar unos suplementos elásticos entre las bridas y el disco?
11. ¿Qué propiedad han de tener los materiales con los que se construyen las cubiertas protectoras de los discos?
12. ¿Por qué hay que equilibrar dinámicamente los discos que giran a gran velocidad?
13. ¿Por qué hay que rectificar los discos?
14. ¿Cómo se averigua la máxima velocidad periférica admisible para un disco abrasivo?
15. Indicar las diferencias entre los procedimientos de trabajo «rectificado plano perimetral longitudinal» y «rectificado plano perimetral rotatorio».
16. Indicar las diferencias entre los procedimientos de trabajo «rectificado exterior circular-longitudinal plano» e «interior circular longitudinal plano».
17. ¿Cuál es el diámetro máximo que puede tener un disco abrasivo para el rectificado circular interior?
18. Explicar el «rectificado exterior longitudinal de un perfil».
19. Citar sobremedidas y profundidades de rectificado usuales.
20. ¿Cuándo es ventajoso el rectificado en húmedo?
21. ¿Qué condiciones especiales han de cumplir las rectificadoras?
22. ¿Cómo se consigue que la mesa de la máquina se mueva sin brusquedades?
23. Indicar las diferencias constructivas de las rectificadoras planas de mesa longitudinal y de mesa circular.
24. Describir los movimientos en las rectificadoras planas de mesa longitudinal y de mesa circular.
25. ¿Cómo se sujetan, con rapidez y seguridad, las piezas a las mesas longitudinal y circular de las rectificadoras?
26. ¿Qué peligro existe al sujetar la pieza con electroimanes?
27. ¿Qué tratamiento ulterior precisan las piezas cuya sujeción se ha hecho magnéticamente?
28. ¿En qué se diferencia una rectificadora cilíndrica exterior de una rectificadora cilíndrica universal?
29. ¿Cómo pueden sujetarse las piezas en una rectificadora cilíndrica exterior?
30. ¿Por qué las rectificadoras cilíndricas tienen siempre para sujetar las piezas puntos fijos en el cabezal móvil?
31. Describir la construcción y funcionamiento de una rectificadora cilíndrica sin puntas.
32. ¿Por qué la rectificadora cilíndrica sin puntas es apropiada para la fabricación de series muy grandes de piezas?
33. ¿Cómo hay que preparar los puntos de centraje de las piezas si se exige gran precisión?

Bruñido y lapeado

34. Describir el objeto del bruñido.
35. Indicar las diferencias entre bruñidos de carrera larga y de carrera corta.
36. Explicar la construcción de un bruñidor para acabado de interiores.
37. ¿Por qué el bruñidor y el husillo de la máquina no deben estar rígidamente unidos entre sí?
38. Describir los tres movimientos de trabajo en el bruñido de carrera corta.
39. ¿Cómo puede mejorarse la forma de la superficie de la pieza?
40. Explicar el objeto del procedimiento de lapeado y su desarrollo.
41. ¿Qué se entiende por «medio de lapear»?
42. Indicar las diferencias entre lapeado plano y cilíndrico.
43. Explicar qué es el lapeado oscilante.
44. Describir el procedimiento de lapeado a mano.

Separación por erosión

Erosión térmica

45. ¿Qué se entiende por «erosión» como procedimiento de fabricación?
46. ¿Qué es «erosión térmica»?
47. ¿Qué es «oxicorte» según la determinación normalizada?
48. Explicar el proceso erosivo en la erosión térmica con gas.
49. ¿Cómo está construido el soplete de corte?
50. ¿Cómo hay que regular el gas combustible y el oxígeno?
51. Indicar algunos campos de aplicación de la «erosión térmica con gas».
52. ¿Qué se entiende por electroerosión?
53. Explicar el proceso de erosión por electroerosión?
54. ¿Cómo se consigue que la electroerosión sea mayor en la pieza que en la herramienta?
55. ¿Qué misión tiene el dieléctrico?
56. Explicar la composición de una instalación de electroerosión?
57. ¿Qué procedimientos de lavado se utilizan?
58. ¿Dónde se utiliza con mayor ventaja el procedimiento electroerosión?
59. Indicar las diferencias entre los métodos de electroerosión para taladrar, rebajar y cortar.

Erosión electroquímica

60. Explicar el proceso erosivo en la erosión electroquímica.
61. Explicar la composición de una máquina para la erosión electroquímica.
62. Dar algunos ejemplos de aplicación de la erosión electroquímica.
63. Indicar las diferencias entre la electroerosión y la erosión electroquímica.

3.8 Unión por apriete y por introducción a presión

3.8.1 Procedimientos de unión

Unir, también llamado a veces ensamblar, es juntar dos o más piezas estableciendo así una conexión local aumentada.

SUBDIVISIÓN SEGÚN LOS PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN

Se entiende por **composición** la aplicación (junta en la cabeza de un cilindro), la **inserción** o encaje (bolas en un cojinete), la introducción (tubo telescópico), el **enganche** (muelle de tracción), la expansión elástica (arandela elástica). Al **rellenar**, los materiales se introducen en cuerpos huecos o porosos (neón en tubos fluorescentes, aceite en los cojinetes). En la **unión por apriete y por introducción a presión** se trata de impedir, por medio de una fuerza de adherencia, que las piezas se suelten involuntariamente.

Esto puede hacerse por medio de tornillos, grapas, abrazaderas, ajustes fijos (introducción a presión, acuñado, clavado, contracción). En la unión por **formación de brutos** se introduce o aplica un material amorfo (colada en un molde). La unión **por conformación** puede hacerse con la ayuda de cuerpos en forma de alambre (trenzado, tejido, anudado) o dando forma a piezas de chapa (plegado, rebordeado, entallado) o con piezas auxiliares de unión (remachado, engrapado, cosido). Entre los procedimientos de unión se encuentran también las **uniones de materiales** por medio de la soldadura, la soldadura blanda y los adhesivos.

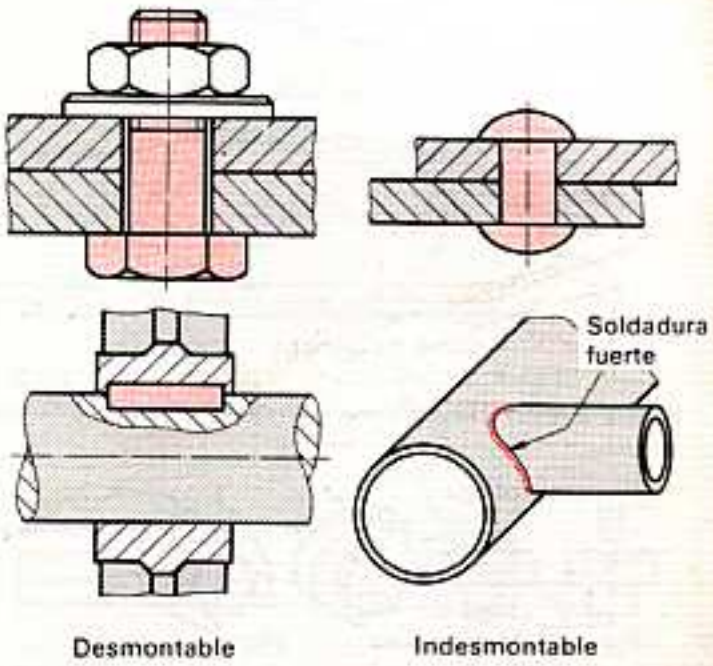


Figura 3-454. Uniones según la desmontabilidad.

SUBDIVISIÓN SEGÚN LA DESMONTABILIDAD

La elección del procedimiento de unión depende, muchas veces, de que la unión esté prevista para desmontarse o que tenga que permanecer indesmontable. Las uniones **desmontables** se realizan, por ejemplo, con tornillos, chavetas, cuñas, y también por ajuste, apriete o contracción. Las piezas con unión **indesmontable** sólo pueden separarse destruyendo el medio de unión, por ejemplo, los roblones, o la unión en sí como, por ejemplo, el cordón de soldadura.

SUBDIVISIÓN SEGÚN EL TIPO DE CIERRE

Si, por ejemplo, una palanca ha de transmitir un movimiento de giro (momento torsor) a un eje, la unión entre la palanca y el eje puede ser por fuerza (palanca enclavada), por forma (palanca enchufada) o por material (soldadura).

Uniones con cierre de fuerza

Para que la palanca transmita con seguridad el momento torsor al eje y no resbale, las paredes del agujero de la palanca han de comprimirse con una fuerza radial suficientemente grande. Todas las uniones con cierre de fuerza pueden patinar o resbalar si la fuerza radial y, por tanto, el rozamiento, no son suficientemente grandes.

Uniones con cierre de forma

En estas uniones, las superficies conformadas transmiten el momento torsor por su apoyo mútuo. Estas uniones no pueden nunca deslizar ni tienen resbalamiento, transmiten forzosamente el momento torsor y el movimiento.

Uniones por el material

La conexión de las piezas se consigue por fuerzas de adherencia o por fusión entre ellas. Se encuentran entre estas uniones por pegamento, soldadura con latón y blanda y soldadura por fusión.

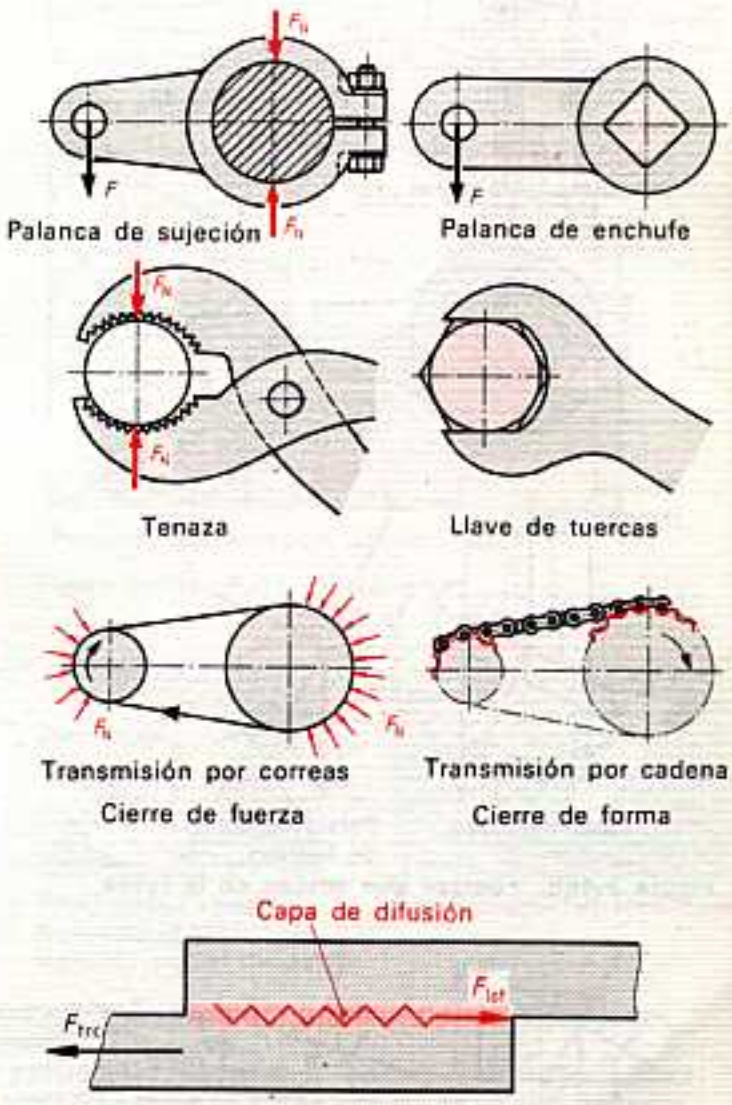


Figura 3-455. Uniones según la forma de cierre de la unión.



Figura 3-456. Llaves para tuercas.

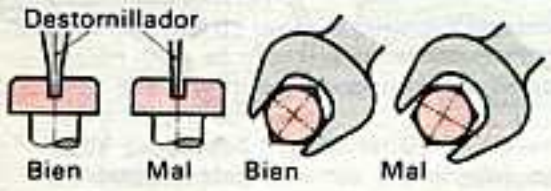
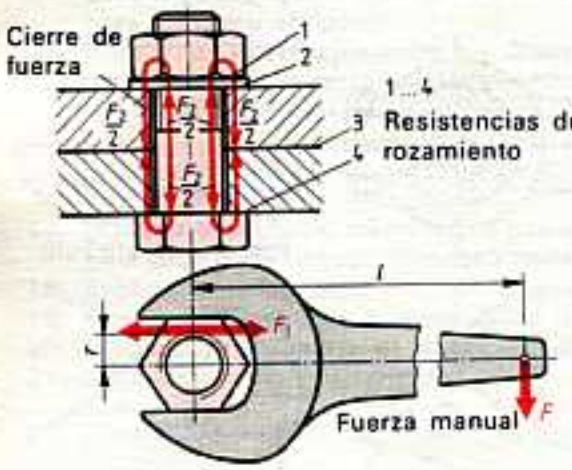


Figura 3-457. Elección correcta de los destornilladores y llaves para tuercas.



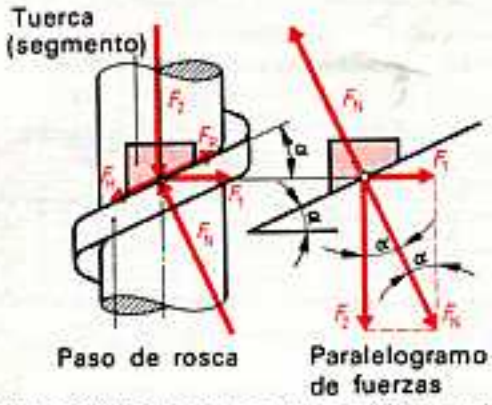


Figura 3-458. Fuerzas que actúan en la rosca.

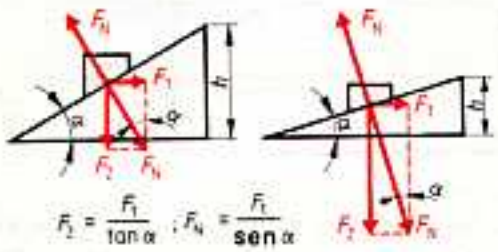


Figura 3-459. Fuerzas y pendientes (pasos de rosca).

3.8.2 Uniones por tornillos

FUERZAS ACTIVAS

El apriete por medio de tornillos da uniones con cierre de fuerza fuertes en las que las piezas se mantienen unidas por las fuerzas de rozamiento entre la cabeza del tornillo, la tuerca, la arandela y la pieza.

Herramientas para atornillar

Para conseguir las fuerzas de rozamiento necesarias es preciso aplicar una fuerza de tensión previa suficiente, lo que se consigue por medio de un momento de apriete.

Las herramientas para apretar los tornillos y las tuercas son el destornillador, la llave de doble boca, la llave de estrella, la llave de tubo, la llave de gancho y la llave dinamométrica. Utilizando la llave dinamométrica, los tornillos y tuercas adquieren la fuerza de tensión previa correcta si se les aplica el momento torsor prescrito. Hay que ajustar el momento torsor de apriete según la solicitación que deba ser absorbida por la unión.

Errores en el trabajo: Lesiones en las cabezas de los tornillos y peligro de accidentes por resbalamiento de la llave si la abertura de ésta es excesiva. Deterioro de la ranura del tornillo si se elige un destornillador inadecuado.

Momento torsor de apriete

Si se aprietan el tornillo o la tuerca con una llave fija cuyo brazo tiene la longitud l y se aplica manualmente la fuerza F, el momento aplicado a la llave tiene la magnitud $F \cdot l$. Con esto, explicándolo de forma sencilla, en el tornillo aparece una fuerza tangencial F_1. De la ecuación de la palanca de la figura adjunta resulta (tuerca M8, fuerza manual $F = 40$ N, brazo de palanca $l = 200$ mm):

$$F_1 \cdot r = F \cdot l \qquad F_1 = \frac{F \cdot l}{r} = \frac{40\ \text{N} \cdot 200\ \text{mm}}{8\ \text{mm}} = 1\,000\ \text{N}$$

Cierre de fuerza

Sobre un trozo del hilo de un tornillo, y como consecuencia de la fuerza tagencial F_1, actúan las fuerzas siguientes:

Fuerza F_2 a lo largo del eje del tornillo (fuerza de tensión previa). Hace que el vástago del tornillo esté solicitado a tracción y que los elementos que se han de unir trabajen a compresión. De esta manera, el vástago del tornillo se alarga y adquiere una fuerza de tensión.

En las superficies de contacto de la cabeza del tornillo y de la tuerca con las piezas que se unen aparece una fuerza de rozamiento que es la que produce la unión por cierre de fuerza.

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

Ejemplo: Fuerza normal $F_N = 800$ N, coeficiente de rozamiento $\mu = 0{,}3$,
Fuerza de rozamiento $F_R = 0{,}3 \cdot 800\ \text{N} = 240\ \text{N}$

Si la fuerza de tensión previa es demasiado pequeña, resbalarán las piezas unidas hasta que el vástago del tornillo apoye contra las paredes del orificio y se forma una unión por cierre de forma.

Fuerza F_N perpendicular al hilo del tornillo. Hace que se establezca una fuerza de rozamiento entre los hilos de la rosca de la tuerca y del tornillo. Esta fuerza de rozamiento tiene importancia para el autobloqueo del tornillo. Cuando el tornillo está apretado impide que

se suelte la tuerca ya que se opone al movimiento de deslizamiento de la tuerca sobre el hilo del tornillo.

La fuerza F_z a lo largo del eje del tornillo y la fuerza normal F_N dependen del paso del tornillo. Entre dos tornillos, las mayores fuerzas se producen en el que tiene menor paso de rosca.

AUTOBLOQUEO DE LAS ROSCAS

Autobloqueo significa que el tornillo y la tuerca, cuando están apretados, no pueden soltarse sin la acción de influencias exteriores.

El autobloqueo se obtiene gracias a la fuerza de rozamiento entre los hilos de la rosca. Este rozamiento depende del coeficiente de rozamiento y de la fuerza normal (fuerza perpendicular).

Fuerza de rozamiento

Cuando un tornillo está apretado actúa el rozamiento de adherencia. Es una fuerza resistente que ha de vencerse para que puedan deslizar entre sí dos cuerpos en reposo (tornillo y tuerca). Depende de la fuerza normal (perpendicular) al hilo y de las características de las superficies de contacto, indicadas por los coeficientes de rozamiento. Cuanto más lisa es la superficie, mejor engrasada esté y más fino sea el grano del material, menor será el coeficiente de rozamiento y menor el efecto de autobloqueo.

En el rozamiento de adherencia, el coeficiente de rozamiento del acero con acero es de 0,2 a 0,3 si las superficies no tienen un acabado fino o han sido tratadas especialmente.

Fuerza normal y paso de rosca

La fuerza normal se deduce del triángulo de fuerzas formado en la hélice del tornillo. El que el autobloqueo sea bueno, suficiente o nulo depende, sobre todo, de la pendiente de la línea de flancos del hilo, ya que la rosca actúa como un plano inclinado. Esta pendiente o inclinación queda determinada por la magnitud del paso de rosca P y del perímetro del tornillo (= base del triángulo). Paso y perímetro determinan la pendiente. Cuanto menor sea la pendiente, mejor será el autobloqueo. Si $\alpha < 15°$, resulta un autobloqueo suficiente. Cuando se desea un buen autobloqueo, o si es necesario tenerlo, se utilizarán roscas de paso pequeño (rosca fina).

Las roscas finas tienen otras dos ventajas:

Por su pequeño paso de rosca, con fuerzas de torsión relativamente pequeñas se pueden obtener fuerzas de apriete relativamente grandes.

Al ser pequeña la pendiente, los hilos de rosca tienen que estar muy juntos. Esto da como resultado pequeñas profundidades de rosca por lo que ésta puede tallarse en tubos de paredes delgadas.

Las roscas de gran pendiente tienen un comportamiento totalmente opuesto. Su autobloqueo es pequeño o nulo, y las tuercas o los vástagos (pernos) avanzan grandes recorridos en dirección axial por vuelta. Por esta razón, se utilizan en husillos roscas con dos, tres o más hilos.

DESGASTE Y PROFUNDIDAD DE CARGA

Las roscas triangulares no son apropiadas para tornillos de movimiento, porque si el movimiento es frecuente, los flancos se desgastan y se reduce así la capacidad de carga del tornillo. La rosca

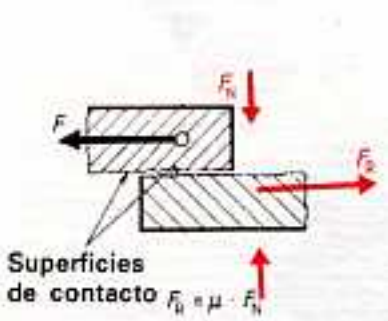


Figura 3-460. Unión por rozamiento.

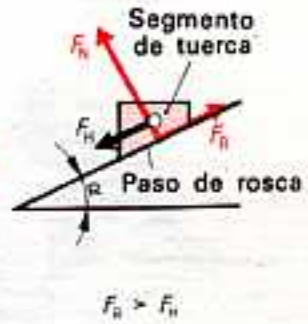


Figura 3-461. Autobloqueo.

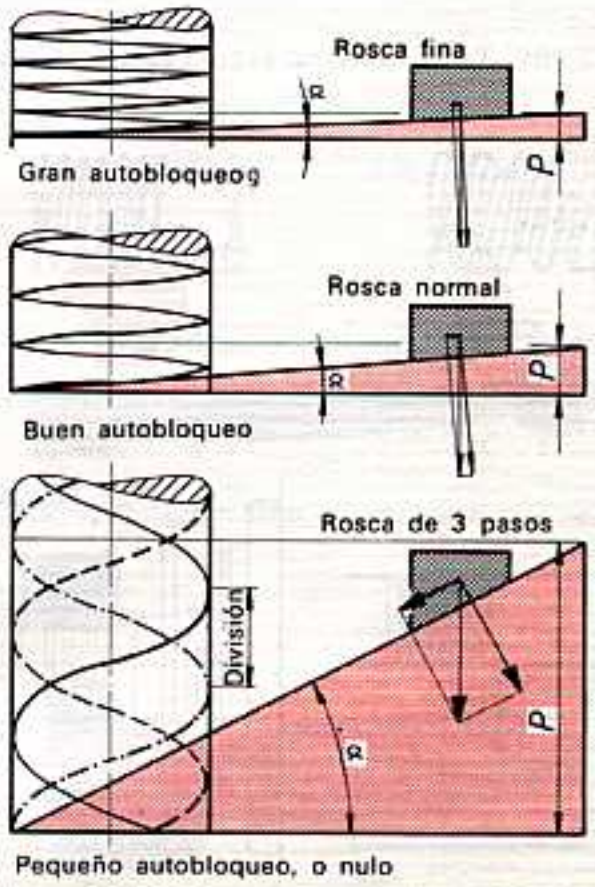
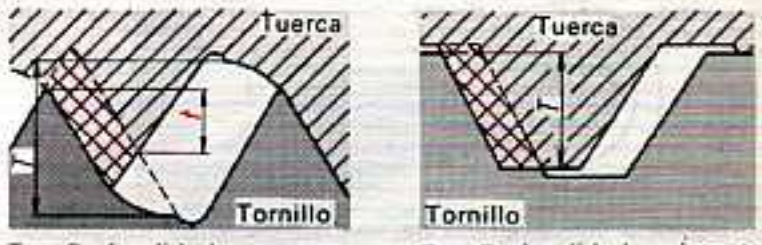


Figura 3-462. Paso de rosca y autobloqueo.



T = Profundidad resistente
t = Profundidad resistente reducida por el desgaste

T = Profundidad resistente

Figura 3-463. Desgaste y profundidad resistente en:
Roscas triangulares:
La profundidad resistente T disminuye por desgaste hasta el valor t. La rosca se rompe a causa de las solicitaciones.
Roscas trapeciales
La profundidad resistente no se reduce a pesar del desgaste causado por los frecuentes movimientos de giro. No hay peligro de roture.



Figura 3-464. Talladora de roscas con cabezal de cambio rápido.



Figura 3-465. Torneado de roscas.

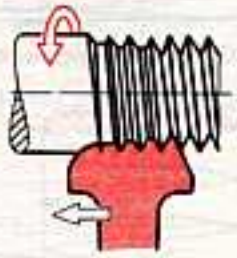


Figura 3-466. Peinado de roscas.

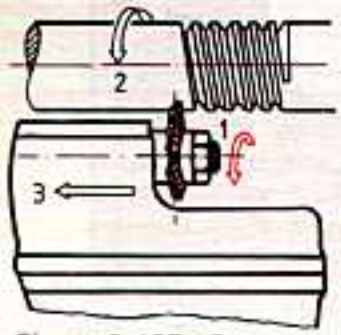


Figura 3-467. Fresado de roscas largas.

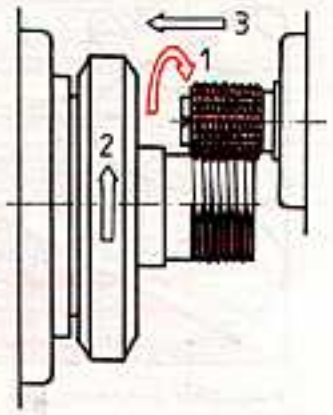


Figura 3-468. Fresado de roscas cortas.

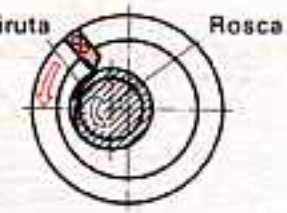


Figura 3-469. Tallado de roscas por torbellino.

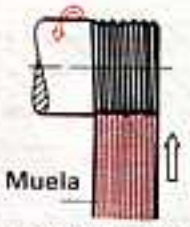


Figura 3-470. Rectificado de roscas.

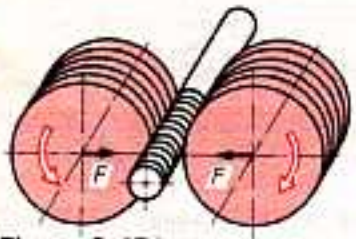


Figura 3-471. Laminado de roscas con rodillos.

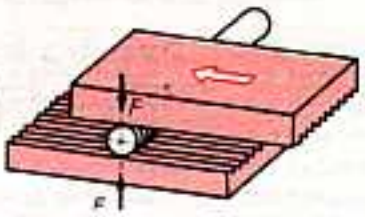


Figura 3-472. Laminado de roscas con planchas.

desgastada se «desgarraría» si la carga fuese grande. Hay excepciones cuando las fuerzas son muy pequeñas, entonces se utilizan tornillos de acero templado y, por tanto, el desgaste es casi nulo, por ejemplo, husillos para aparatos de medición.

Además, el rozamiento en las roscas trapeciales es menor por su menor ángulo de inclinación de los flancos (30°) en comparación con las roscas triangulares (60°).

FABRICACIÓN DE ROSCAS CON MÁQUINA

Talladora de roscas. Fabricación de roscas triangulares de escasa precisión, sobre todo roscas métricas y roscas para tubos. Hay cabezales roscadores de cambio rápido para los distintos tipos y tamaños de roscas. En otras roscadoras los equipos de terrajas son intercambiables.

Torneado de roscas. Fabricación individual de todas las formas y tamaños de roscas con buena precisión. A cada vuelta del perno, la herramienta ha de avanzar una longitud igual al paso de rosca por la acción del husillo de roscar.

Peine para roscar. Fabricación en serie de pequeñas roscas triangulares en máquinas semiautomáticas y automáticas. Roscas para tornillos y tuercas.

Fresado de rosca larga. Fabricación en serie de roscas de movimiento. La fresa talla la rosca en una sola pasada. Se mueve a lo largo de la pieza sobre un husillo de roscar mientras la pieza gira lentamente.

Fresado de rosca corta. Fabricación en serie de roscas triángulares. La fresa de rosca con estrías perfiladas sin pendiente tiene que ser más larga que la rosca a tallar en una longitud igual al paso de rosca. Debido al avance de la pieza o de la herramienta, se talla la rosca en sentido inverso. La rosca queda terminada con 1 1/6 de vuelta de la pieza. Sirve para tallar tornillos y tuercas.

Tallado de roscas por torbellino. Fabricación en serie de roscas de movimiento. Este tallado es semejante al fresado de rosca larga. La pieza gira y realiza el avance. El portaútil gira a gran velocidad con igual sentido. En el mismo se colocan radialmente las herramientas, que son semejantes a las cuchillas de torno. Si las herramientas están dirigidas hacia afuera, se pueden tallar también roscas de tuercas de gran tamaño.

Rectificado de roscas. Con muelas de varios perfiles se pueden fabricar roscas triangulares finas partiendo de barras en bruto, por ejemplo, husillos templados para aparatos de medición. Las muelas tienen un perfil cilíndrico torneado sin paso. También se tallan roscas con muelas de un solo perfil y se repasan las roscas fabricadas con muelas de varios perfiles.

Laminado de roscas con rodillo. Fabricación de roscas triangulares arranque de viruta por impresión del perfil de la rosca. No se interrumpe la fibra del material y el tiempo de fabricación es corto. La precisión es escasa por defectos de paso de rosca cuando éstas son largas.

Laminado de roscas con planchas. Como en el laminado de roscas con rodillos.

DIMENSIONES Y TOLERANCIA DE LAS ROSCAS

Dimensiones de las roscas

Las dimensiones establecidas para las roscas no pueden mantenerse con exactitud en su fabricación (ver ajustes). Por esta razón, también las dimensiones de las roscas tienen tolerancias y, por tanto, límites de tolerancia. En la figura 1 se representa el perfil de una rosca ISO métrica. Las roscas de los pernos y de la tuerca tienen

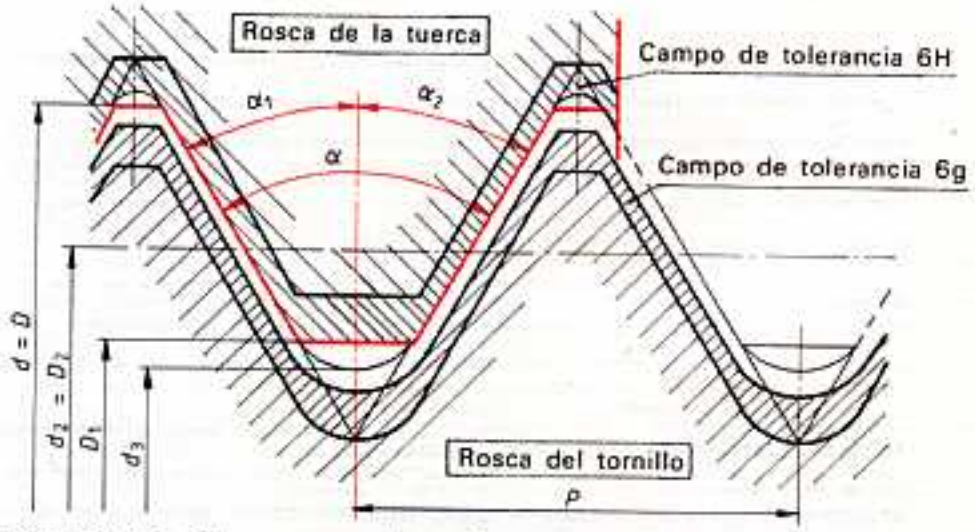


Figura 3-473. Una rosca queda perfectamente definida por cinco magnitudes.

	Tuerca	Tornillo
Diámetro exterior (diám. nominal)	D	d
Diámetro sobre los flancos (no visible)	D_2	d_2
Diámetro del núcleo	D_1	d_3
Paso	P	P
Angulo de los flancos $\alpha_1 + \alpha_2$	α	α

sus campos de tolerancia. El campo de tolerancia de la tuerca (agujero) se encuentra en la parte superior sobre la línea cero (línea roja) y es, por lo tanto, un campo de tolerancia H (en la figura 6H). El campo de tolerancia del perno (eje) está por debajo de la línea cero (en la figura, 6 g). De esta manera, el par de roscas cumple las condiciones de ajuste con juego pequeño del sistema de agujero base.

Observación: Para no confundir las tolerancias ISO para dimensiones longitudinales con las tolerancias para roscas, en éstas se ponen los números por delante de las letras y se unen con un guión, por ejemplo: M 8-6 h.

Ajuste de roscas

Según que se trate de roscas de movimiento en los husillos, de roscas de fijación en los tornillos o de roscas de estanquidad en las tuberías, se establecen también en las roscas ajustes con juego, ajustes indeterminados y ajustes fijos a presión mediante la determinación de la ubicación y magnitud (calidad) de los campos de tolerancia correspondientes.

Hasta ahora se han normalizado los ajustes para roscas ISO métricas a partir de 1 mm de diámetro. Para las roscas de tuercas (roscas interiores) y para las roscas de pernos (roscas exteriores) se admiten calidades de tolerancia para determinar la cuantía de la tolerancia y campos de tolerancia para determinar su posición.

Roscas de tuerca

Calidades de tolerancia	4	5	6	7	8
Campos de tolerancia		G	o	H	

Roscas para pernos:

Calidades de tolerancia	3	4	5	6	7	8	9	
Campos de tolerancia	a	b	c	d	e	f	g	h

Las calidades que se han de elegir dependen de las clases de tolerancia para roscas T1 (antes f = fina), T2 (antes m = media), T3 (antes g = gruesa) y los actuales grupos de atornillado (longitudes de rosca) S (short = corta), N (normal), L (larga). Se utilizan para:

T1	(f) o S	Calidades inferiores a	6
T2	(m) o N	Calidad	6
T3	(g) o N	Calidades superiores a	6



Figura 3-474. Calibre macho de tolerancia para roscas.



Figura 3-475. Calibre macho pasa para roscas.



Figura 3-476. Anillo calibre pasa para roscas.

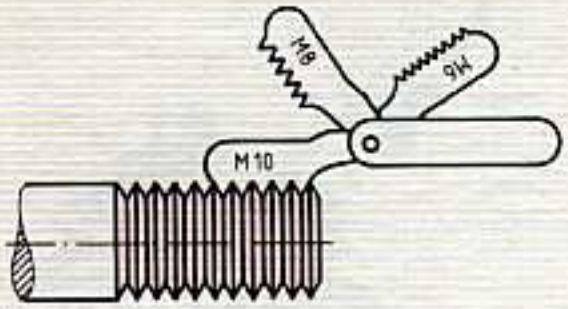


Figura 3-477. Plantilla para roscas.

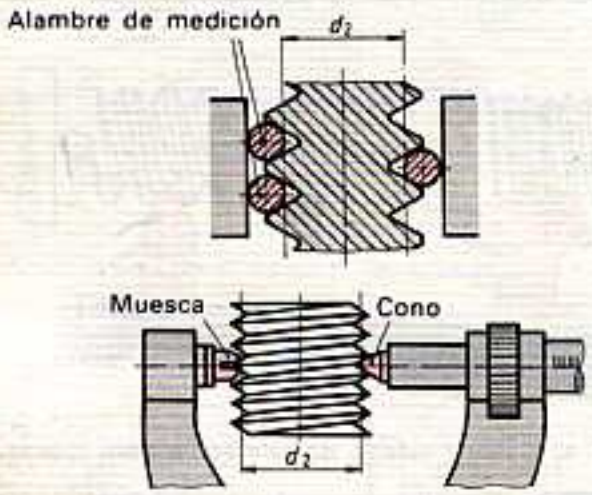


Figura 3-478. Medición del diámetro sobre los flancos con el micrómetro con la ayuda de alambres de medición o con muesca y cono.



Figura 3-479. Calibre de boca de tolerancia para roscas con rodillos de medida para «pasa» y «no pasa».

La posición de los campos de tolerancia depende de que la rosca quede como tal (pulida), se fosfate o reciba un galvanizado de protección.

Ejemplos:

Rosca de tuerca tolerada:	M 20×2-7 G
Rosca de tornillo tolerada:	M 8-6 h
Ajuste de la rosca:	M 6-7 H/8 g
Ajuste de la rosca:	M 20×2-6 H/5 g

VERIFICACIÓN DE LAS ROSCAS

Verificación con medios sencillos

Las roscas talladas a mano se comprueban en el taller atornillando en ellas, como prueba, la contrapieza (tornillo o tuerca). Si las roscas ajustan bien, la tuerca puede pasar a todo lo largo de la rosca del tornillo sin agarrarse. Las roscas están perfectamente talladas si concuerdan en cinco medidas principales: diámetro exterior, diámetro del núcleo, ángulo de los flancos, paso de rosca y diámetro sobre los flancos. El ángulo de los flancos y el paso se comprueban con plantillas para roscas. Si el perfil de la rosca está bien y el paso es el correcto, entre las superficies de comprobación de la plantilla y los flancos de la rosca no se debe ver ninguna rendija que deje pasar la luz. Si es necesario, el paso de rosca puede determinarse también utilizando un pie de rey. Para ello se mide un múltiplo del paso de rosca, por ejemplo diez pasos. En ese caso, el resultado de la lectura hay que dividirlo por 10.

Verificación con calibres de tolerancia

Igual que para los ajustes cilíndricos normales, en las roscas se puede también comprobar si cumplen los límites de medidas por medio de calibres de tolerancia (calibre macho de tolerancia, anillo calibre o calibre de boca de tolerancia).

Las roscas de tuerca o roscas interiores se comprueban por medio de calibres macho de tolerancia de roscas (ver figura en la página anterior).

El extremo con rosca larga es el lado pasa del calibre macho. Tiene que poderse enroscar. El extremo opuesto termina en un talón cilíndrico, sin rosca, y es el lado no pasa. No debe poderse enroscar.

Las roscas exteriores se comprueban con anillos calibres o con calibres de boca de tolerancia para roscas. Para el calibrado se necesita siempre un anillo pasa y un anillo no pasa. Los calibres de boca de tolerancia para roscas tienen la ventaja de que pueden ajustarse a la tolerancia de una dimensión nominal deseada con un calibrado de ajuste de roscas. Con los calibres no se puede comprobar si la rosca está aplanada o si la posición de los flancos es asimétrica.

Medición de roscas

Para comprobar también, de algún modo, la forma de una rosca, hay que medirla. Toda variación del ángulo del flanco (defecto de forma) se acusa en la dimensión del diámetro sobre el flanco, por lo que, en la mayoría de los casos, bastará medir el diámetro exterior y el diámetro sobre el flanco de la rosca de un tornillo. El diámetro sobre el flanco se mide en el taller con el micrómetro en el que se colocan la muesca, el cono o tres alambres de medidores normalizados. En ambos casos la lectura realizada ha de transformarse por cálculo en medida del diámetro sobre el flanco.

DESIGNACIÓN DE LOS TORNILLOS

Los tornillos son elementos mecánicos de unión para realizar, en la mayoría de los casos, uniones con cierre de fuerza.

Según la Norma DIN-ISO 1891, los tornillos se diferencian por la rosca, la forma de la cabeza, la forma del vástago, el extremo del tornillo y la forma de accionamiento.

Designación por la rosca

Rosca métrica, rosca Whitworth, rosca Whitworth de tubo, rosca de tornillo para chapa, rosca de tornillo para madera, la rosca de tornillo de corte.

Tornillos de cabeza

Desingnación por la forma de la cabeza

Hay tornillos de cabeza hexagonal, de cabeza cuadrada, de cabeza triángular, de cabeza octagonal. También se utilizan mucho los tornillos de cabeza semiesférica, de cabeza avellanada, de cabeza lenticular y de cabeza cilíndrica que, en su mayoría, tienen ranuras para su accionamiento.

Designación por la forma del vástago

La mayoría de los tornillos tienen vástago macizo, es decir, el diámetro del vástago es igual al diámetro de la rosca. Si el vástago es delgado, su diámetro es igual al de los flancos. Si el vástago es de dilatación, su diámetro es menor, que el del núcleo. En los tornillos de ajuste, el diámetro del vástago tiene asiento de ajuste. Se utilizan los tornillos de ajuste para fijar partes de una máquina en la posición entre sí o para absorber fuerzas transversales. Estas uniones son más caras por su ajuste (H 7/k 6). Es más económico un tornillo de vástago macizo combinado con uno o dos pasadores de ajuste.

Designación por el extremo del tornillo

La mayoría de los tornillos tienen el extremo lenticular o cónico; los tornillos para madera acaban en punta. Algunos tornillos tienen en el extremo un pivote.

Designación por la forma de accionamiento

Las formas de cabeza poligonal pueden apretarse con una llave de tuercas. Las cabezas circulares necesitan formas de accionamiento encajadas en ellas, por ejemplo, hexágono interior, cuadrado interior, ranura, ranura en cruz, orificio en cruz. Además, los tornillos pueden accionarse por medio de mariposas muletillas o mangos moleteados, etc.

Tipos de tornillos

Los numerosos tipos de tornillos en uso pueden designarse exactamente por su forma. Sin embargo, además de la forma hay que indicar diversas medidas como, por ejemplo, diámetro de la rosca, longitud de la rosca, longitud del vástago.

Espárragos

Su ventaja con respecto a los tornillos con cabeza consiste en que los espárragos que han de soltarse con frecuencia quedan con su

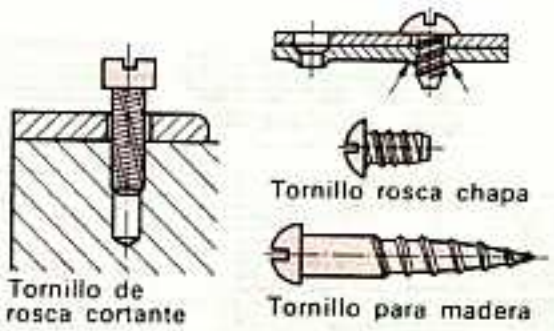


Figura 3-480. Tipos de tornillos.

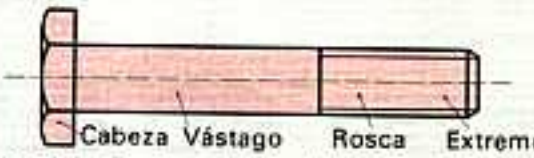


Figura 3-481. Designaciones de un tornillo de cabeza hexagonal DIN 931.



Figura 3-482. Diámetro del vástago en relación con el de la rosca

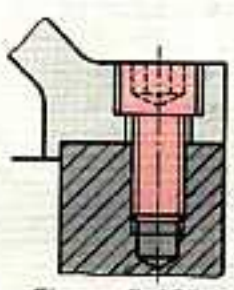


Figura 3-483. Tornillo de cabeza cilíndrica con hexágono interior.

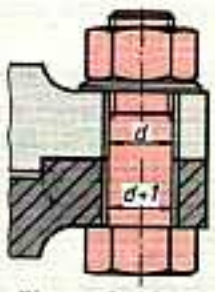


Figura 3-484. Tornillo de cabeza hexagonal con vástago macizo.

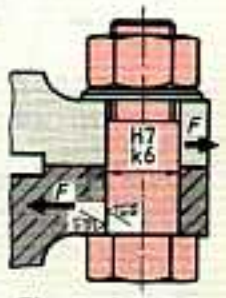


Figura 3-485. Tornillo de ajuste con cabeza hexagonal.



Figura 3-486. Formas de las cabezas de los tornillos ranurados.

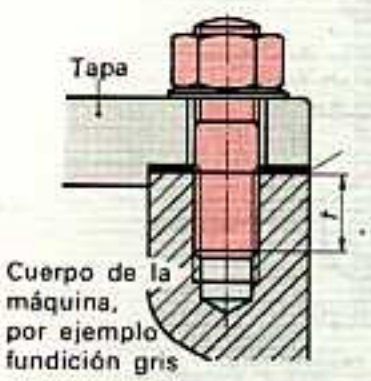


Figura 3-487. Espárrago.

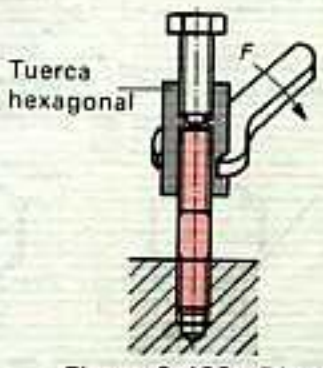


Figura 3-488. Dispositivo de enroscar.

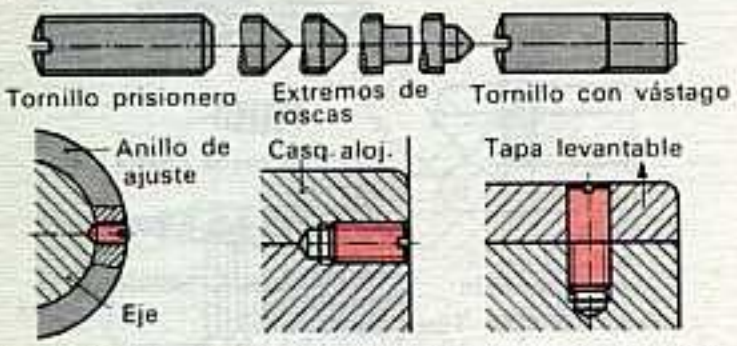


Figura 3-489. Utilización de los tornillos prisioneros y de los tornillos con vástago.

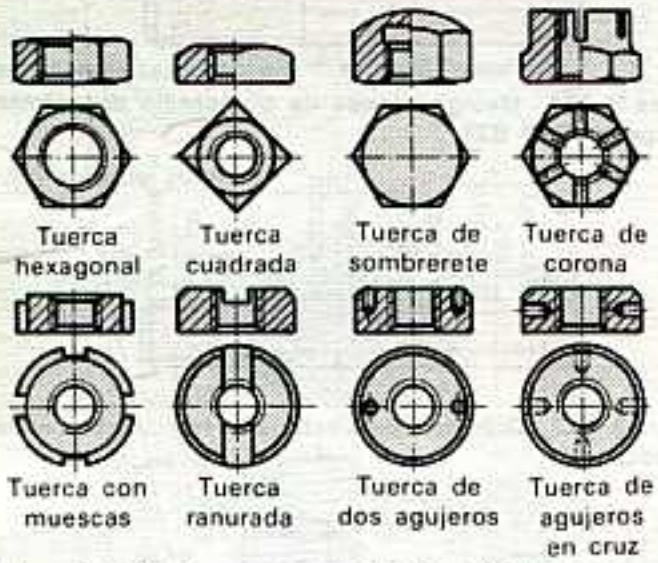


Figura 3-490. Formas normalizadas de tuercas.

Ejemplo:
Tuerca hexagonal
DIN 934-
M6-8
$d_1 = 6$ mm,
$d_2 = 9$ mm,
$e_1 = 11{,}05$ mm,
$m = 5$ mm,
$s = 10$ mm,
8 = **Clase de resitencia**

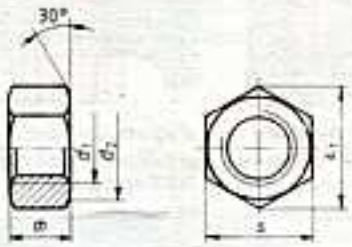


Figura 3-491. Designación de las tuercas.

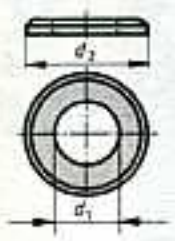


Figura 3-492. Arandela con bisel.

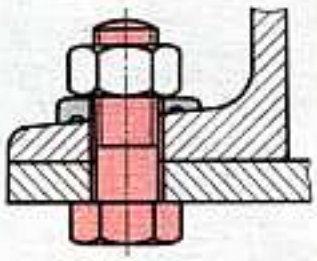
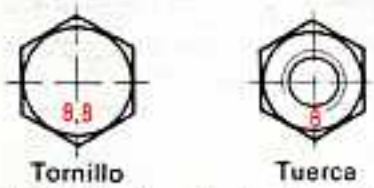


Figura 3-493. Arandela cuadrada en forma de cuña.



Tornillo Tuerca

Figura 3-494. Indicación de la resistencia.

extremo roscado a la pieza de la máquina por lo que no se daña la rosca que va en la pieza, por ejemplo, los espárragos de cabeza cilíndrica. Los espárragos se enroscan en el cuerpo de la máquina por medio de un dispositivo de apriete (tuerca hexagonal larga y tornillo de cabeza).

Tornillos prisioneros

Están roscadas en toda su longitud y tienen una ranura para apretarlos. Con ellos se aseguran contra deslizamiento o giro algunas piezas de máquinas como anillos de ajuste, casquillos de cojinete, etc. Los tornillos con vástago son una versión del prisionero y se utilizan para fijar piezas desmontables.

DESIGNACIÓN DE TUERCAS

Las tuercas se han de poder aflojar, apretar y asegurar bien. Se fabrican de diversas formas según a qué se destinen. Así hay tuercas hexagonales, tuercas de sombrerete, tuercas de corona, tuercas de mariposa, etc.

La rosca interior de la tuerca ha de coincidir con la exterior del tornillo.

Para la resistencia de una unión con tornillo y tuerca es importante la longitud de la rosca de la tuerca. Es ésta la que determina el número de pasos de rosca resistentes. En la mayoría de las tuercas, la altura de la tuerca es igual a la longitud de la rosca. Excepción: por ejemplo, la tuerca de sombrerete. Altura de la tuerca normal = 0,8 veces el diámetro nominal de la rosca. Sólo deben utilizarse tuercas más bajas, con un altura $< 0{,}5 \cdot d$ cuando las fuerzas son pequeñas o como contratuercas. Si las fuerzas son muy grandes se utilizan tuercas peraltadas con una altura $> 1 \cdot d$.

Exactitud de las medidas

Los tornillos y tuercas normalizados se fabrican con distintos grados de exactitud, según la Norma DIN 267. Las diferencias se encuentran en las exigencias de exactitud, respecto a la calidad de la superficie, la precisión de las dimensiones, lás tolerancias dela rosca, la desviación en el centrado y la desviación angular de la cabeza y del vástago (ver pág. 242).

Arandelas (arandelas de asiento)

El objeto de las arandelas es aumentar la superficie de apoyo de la tuerca o de la cabeza del tornillo. Sin la arandela, la tuerca dañaría el material de la pieza, que suele ser más blando. A cada unión atornillada le corresponde una arandela adaptada a ella. Su diámetro es siempre mayor que el diámetro de la tuerca o de la cabeza del tornillo. Es absolutamente necesaria en el caso de agujeros rasgados y en apoyos oblícuos.

RESISTENCIA DE LOS TORNILLOS Y TUERCAS

La fuerza de tensión previa no debe provocar en el material ningún alargamiento residual. El vástago del tornillo no debe, pues, solicitarse por encima de su límite de fluencia. Si se sobrepasa la resistencia a la tracción por encima del límite de seguridad (límite de rotura) se produce la rotura. Los valores de la resistencia del límite de fluencia R_e o del límite de alargamiento $R_{p0,2}$ y de la resistencia a tracción R_m para los tornillos de aceros no aleados o de aleación

pobres según la Norma DIN 267 se indican por medio de dos números que, en general, están separados por un punto.

Ejemplo de designación: Clase de resistencia 8.8

El primer número da la centésima de la resistencia a la tracción en N/mm². Por lo tanto, el primer número, multiplicado por 100 nos da la resistencia a la tracción del material de que está hecho el tornillo:

$R_m = 8 \cdot 100\ N/mm^2 = 800\ N/mm^2$

Si se multiplica por 10 el productb de ambos números se obtiene el límite de fluencia (o el límite 0,2 del alargamiento).

Ejemplo: 8.8: $R_{p0,2} = 8 \cdot 8 \cdot 10\ N/mm^2 = 640\ N/mm^2$

En total, las Normas DIN reconocen nueve parejas de números. Estas parejas de números se denominan «clases de resistencia». Son las siguientes:

3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9

Eligiendo una clase de resistencia mayor, para una fuerza de tensión previa F_v dada, la sección del tornillo puede ser menor. De esta manera, el empleo de tornillos de mayor resistencia ahorra espacio, material y costes, aunque los tornillos, en sí, sean más caros.

La resistencia de la tuerca ha de corresponderse con la resistencia a la tracción del tornillo empleado; por esa razón, los grados de resistencia son los mismos que para los tornillos. La resistencia a la tracción se indica también por su centésima parte.

Ejemplo: Tornillo 6.8, tuerca correspondiente de índice 6 por lo tanto: resistencia a la tracción 600 N/mm².

UNIONES POR TORNILLOS CON CUELLO DE DILATACIÓN

Algunos tornillos se cargan con fuerzas pulsatorias, es decir, la fuerza que han de absorber aumenta hasta un valor máximo y luego vuelve a reducirse, por ejemplo, los tornillos de la culata de los motores. En estos casos se utilizan tornillos con cuello de dilatación. Estos tornillos tienen un vástago largo cuyo diámetro es algo menor que el diámetro del núcleo de la rosca.

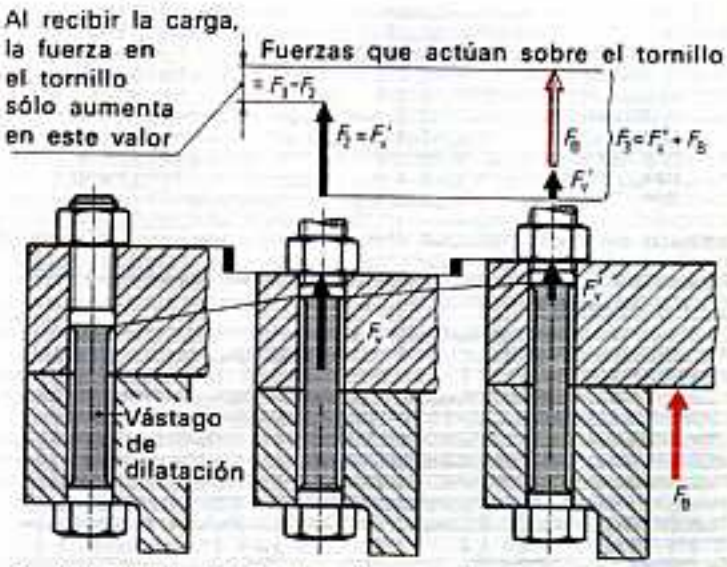
Tres estados de policitación en los tornillos con cuello de dilatación

I. **Sin carga:** El tornillo tiene su longitud normal, los componentes tienen su espesor normal.

II. **Con tensión previa:** Al apretar el tornillo con una fuerza determinada, se alarga. Al mismo tiempo, los componentes se comprimen y se hacen más delgados. En el tornillo actúa la fuerza de tensión previa. F_v.

III. **En carga:** Si, además, actúa sobre el tornillo una fuerza de servicio F_B, el tornillo se alarga más. Entonces, la fuerza de tensión previa se reduce a la tensión previa residual F', porque, al alargarse el tornillo, los componentes se dilatan.

La ventaja de los tornillos con cuello de dilatación consiste en que, si las fuerzas de servicio son grandes y aumentan súbitamente,





F_v = Fuerza de tensión previa apretando el tornillo con una llave dinamométrica
F_v' = Fuerza de tensión previa residual
F_B = Fuerza de servicio, por ejemplo, presión de un gas o de un líquido, presión de explosión, etc.
F_3; F_3 = Fuerzas que actúan sobre el tornillo

(La deformación de la pieza se ha indicado con trazo grueso para mejor comprensión)

Figura 3-495. Fuerzas que actúan sobre un tornillo con cuello de dilatación.

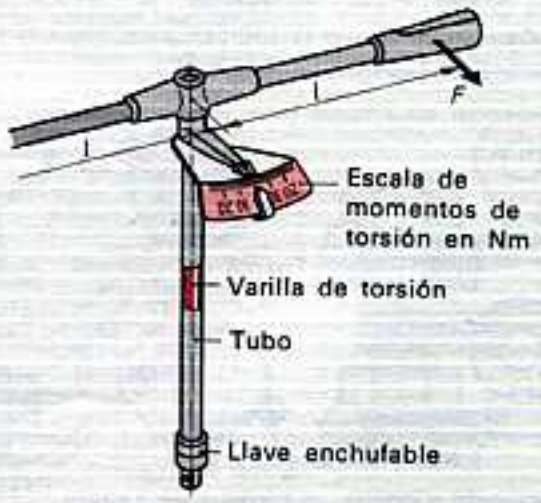


Figura 3-496. Llave dinamométrica.

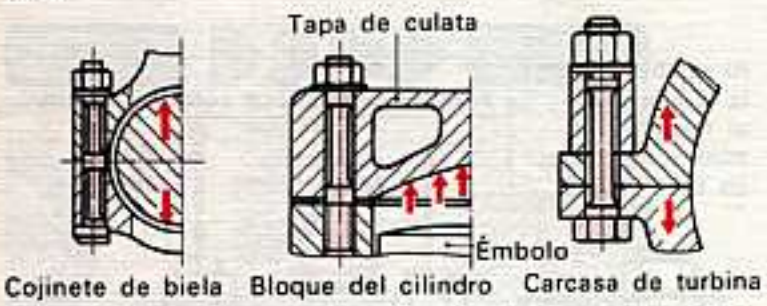


Figura 3-497. Ejemplos de aplicación de los tornillos con cuello de dilatación.

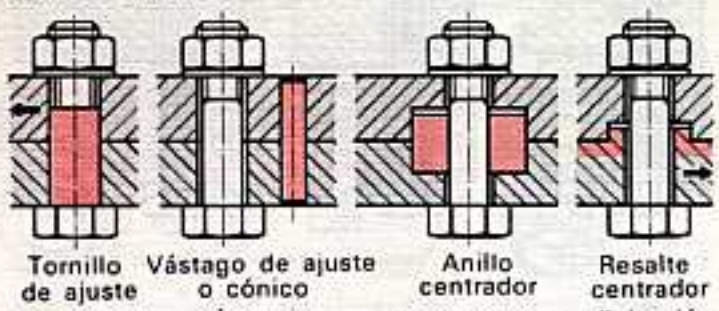


Figura 3-498. Uniones atornilladas con solicitación transversal.

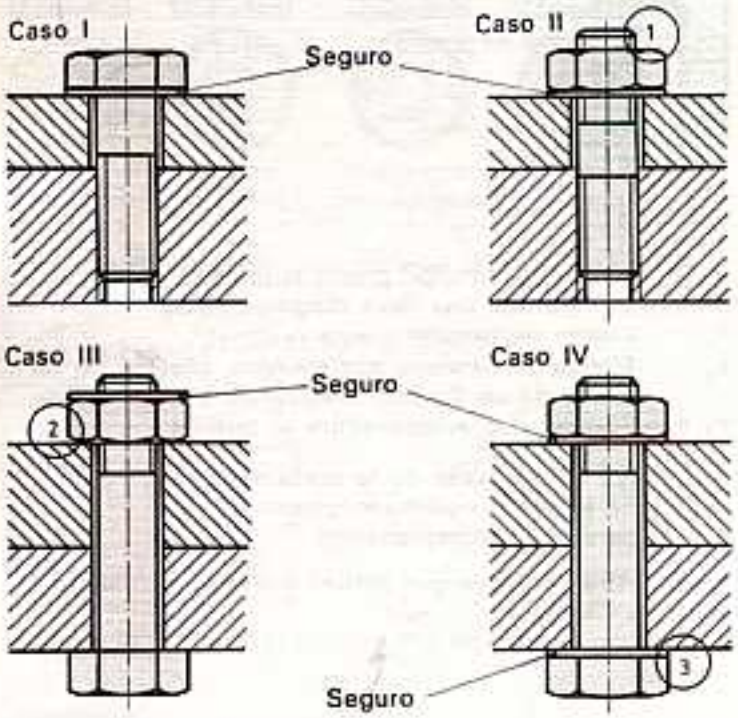


Figura 3-499. Casos de seguro.
Los números I, II, III y IV indican para qué casos pueden utilizarse los seguros para tornillos.

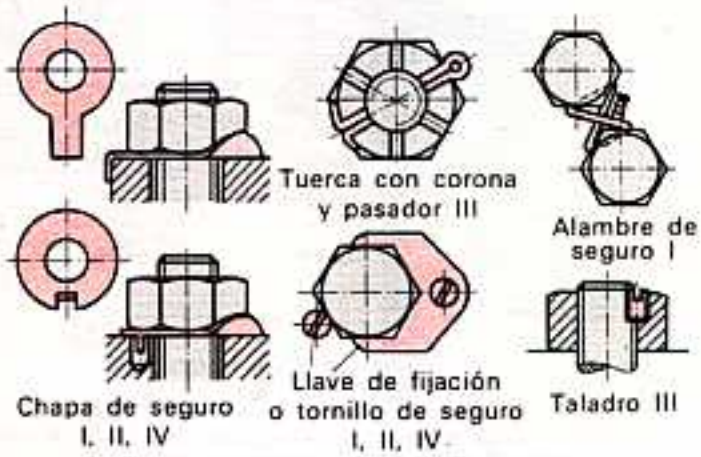


Figura 3-500. Seguros con cierre de forma.

la solicitación del tornillo sólo aumenta en una cuantía escasa puesto que, al aumentar la fuerza de servicio se reduce la de tensión previa. La fuerza de tensión previa se calcula de modo que la tensión previa residual sea suficiente para hacer estanca la unión entre las piezas. Por esa razón, los tornillos con cuello de dilatación se aprietan siempre con una llave dinamométrica. Si en lugar de los tornillos con cuello de dilatación se colocasen tornillos de vástago macizo, el proceso que hemos explicado sólo se produciría en el corto núcleo de la rosca. El campo de extensión o dilatación sería muy corto y, además, el efecto de entalladura de los pasos de rosca debilitaría la sección del núcleo. Para durar igual tiempo con la misma solicitación, estos tornillos tendrían que ser de mayor tamaño.

SOLICITACIONES TRANSVERSALES DE LAS UNIONES ATORNILLADAS

En los casos normales, los tornillos sólo están solicitados en sentido longitudinal. Si se presenta una fuerza transversal considerable, el vástago del tornillo trabaja a esfuerzo cortante y entonces, ese esfuerzo cortante se ha de absorber por medio de tornillos de ajuste, pernos prisioneros, anillos centradores o rebordes centradores.

SEGUROS PARA TORNILLOS

Si las uniones atornilladas están sometidas a vibraciones, pueden aflojarse por sí solas. Se necesitarán seguros en todos estos casos y además lo exijen las normas de seguridad, cuando de la seguridad de estas uniones puedan depender vidas humanas, por ejemplo en vehículos, ascensores, teleféricos, etc.

Casos de seguros

Antes de colocar un seguro, hay que pensar qué partes deben unirse por medio del seguro.

En las uniones atornilladas se presentan cuatro casos de colocación de seguros:

I. Si la rosca está en la pieza de la máquina, sólo puede asegurarse la cabeza del tornillo contra la pieza de la misma.

II. Si en un espárrago se asegura la tuerca contra el perno (1), el tornillo y la tuerca aún pueden aflojarse. En cambio, si la tuerca se asegura contra la pieza de la máquina, el seguro es efectivo. Si el espárrago tiene distintos pasos de rosca en sus extremos y la tuerca se coloca con cierre de forma con la pieza de la máquina, el seguro es completo.

III. En los tornillos con tuerca se asegura el perno contra la tuerca. Ciertamente que el tornillo puede girar junto con la tuerca, pero no puede soltarse. Si se asegura la tuerca contra la pieza de la máquina (2), el tornillo podrá aflojarse.

IV. En lugar del caso III pueden también asegurarse la cabeza del tornillo y la tuerca contra la pieza de la máquina, el caso (3) sigue siendo inseguro porque la tuerca puede aflojarse.

Seguros por cierre de forma

Con los seguros por cierre de forma puede impedirse por completo que se aflojen las uniones por tornillos. La unión no podrá aflojarse hasta que se quite el seguro.

Seguros por cierre de fuerza

Estos seguros establecen una fuerza de compresión entre las piezas que aumenta el rozamiento y dificulta así que se afloje la unión, pero no lo impide totalmente.

Seguro por medio de adhesivos

Para asegurar tornillos y tuercas se utilizan pegamentos o suplementos de plástico. El pegamento se aplica a la rosca y se pega a las piezas una vez atornilladas. La unión puede soltarse, en general, por medio de calor.

Las resinas epoxídicas se endurecen por reacción química formando un aglomerante duro y tenaz entre las piezas metálicas íntimamente unidas, por lo que si se utilizan estos productos no se necesita rosca en los agujeros ciegos al colocar los pernos. Estos productos sintéticos no permiten que se desenrosquen los pernos o las tuercas.

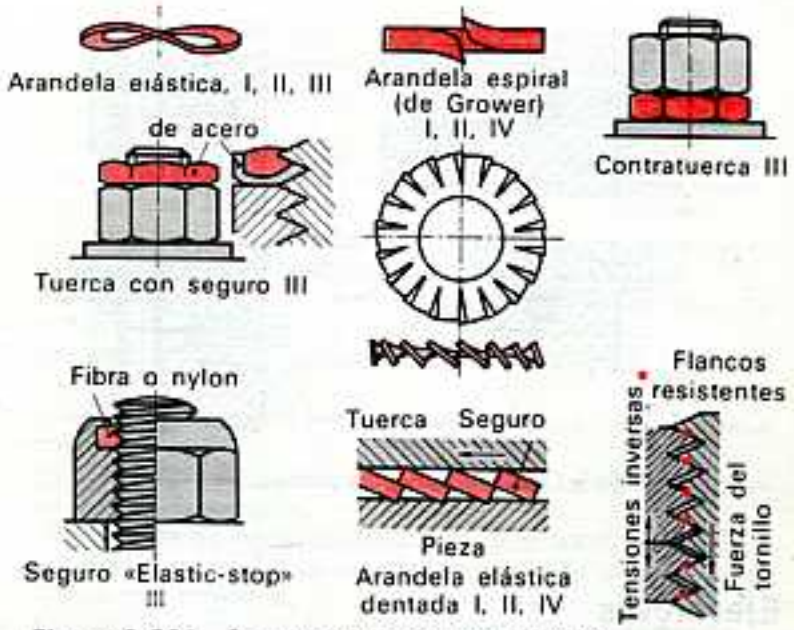


Figura 3-501. Seguros con cierre de fuerza.

IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS UNIONES ROSCADAS

En muchos casos, las cámaras o huecos de las máquinas o aparatos deben cerrarse de modo que los productos que se encuentran a presión o sin presión (gases, líquidos) no puedan salirse ni puedan entrar los productos no deseados como polvo, suciedad y limaduras.

Estanqueidad sin juntas intercaladas

En determinadas máquinas, como por ejemplo, bombas de engranajes, no pueden colocarse juntas para la estanqueidad de las cámaras a presión porque, por su espesor, modificarían la exacta posición de las piezas. En ese caso, el aceite a presión de la cámara de presión pasaría a la cámara de aspiración entre el lado frontal de los engranajes y la tapa de la bomba. Mediante un rectificado fino o un rasqueteado se obtienen superficies planas de obturación. En las carcasas para altas presiones, las superficies de contacto se frotan una contra otra con agentes esmerilantes sueltos («lapeado»). Para que las piezas no se deformen, los tornillos se aprietan en varias pasadas y siguiendo un orden determinado.

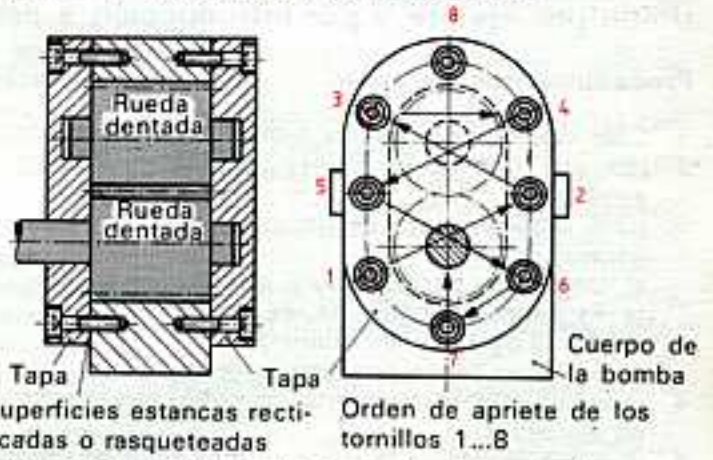


Figura 3-502. Obturación sin juntas intercaladas

Impermeabilización con masilla de juntas

Las superficies de contacto que no pueden mecanizarse bien y que por esa razón no son planas, se impermeabilizan con masillas especiales. La masilla debe amasarse bien antes de aplicarla para que sea uniformemente elástica. La masilla se aplica en forma de cordón delgado sobre la superficie de contacto (sin extenderla con la espátula). Al apretar los tornillos, la masilla se extiende entre las superficies, de acuerdo con la presión aplicada, e iguala sus irregularidades.

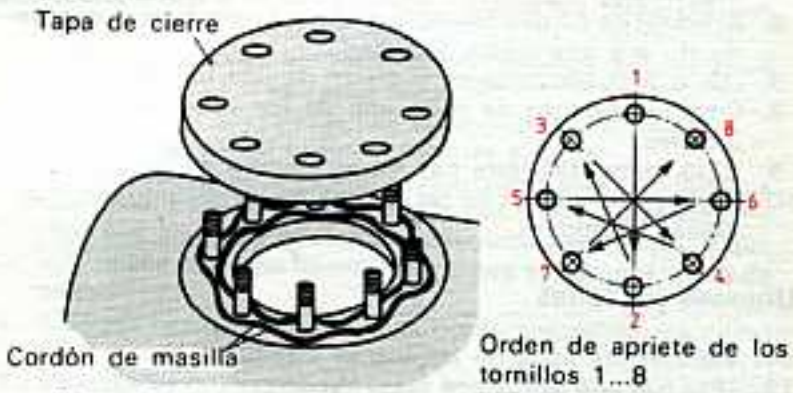


Figura 3-503. Obturación con masilla de juntas.

Impermeabilización con juntas planas

Las juntas planas de materiales blandos (amianto, goma, resinas sintéticas con aditivos) se utilizan para presiones bajas o medias.

a) **Cartones para juntas** (cartones 1t según DIN 3754) en espesores de 0,5 a 4 mm.
b) y c) **Juntas listas para montar con inclusiones o rebordes metálicos de Cu o Al.**
d) **Juntas de metal ondulado con recubrimiento de material blando.**

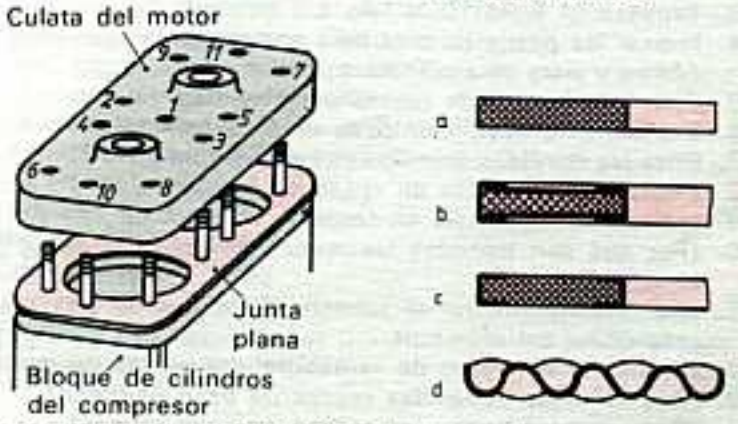


Figura 3-504. Obturación con juntas planas.

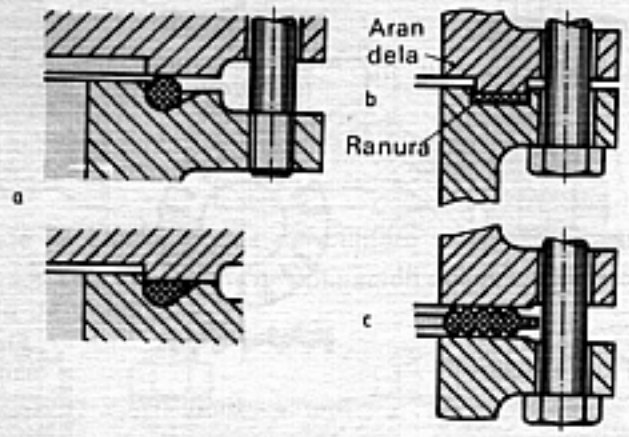


Figura 3-505. Obturación con juntas perfiladas.

Para presiones altas se utilizan juntas duras metálicas (Pb, Cu, Al, hierro dulce, metal Monel, acero V 2 A). Para ello, las superficies de la junta han de ser planas y no deben tener ningún desperfecto.

Impermeabilización con juntas perfiladas

a) **Juntas tóricas** de goma, de anillo cerrado y dimensiones normalizadas. Al montarlas no deben retorcerse ni morderse.
b) **Juntas de caja y espiga.** No vienen afectadas radialmente por el medio a presión. Han de montarse con esmero.
c) **Juntas metálicas estriadas con ala interior, con 1 a 5 estrías.** Obturan por aplastamiento de las estrías. El apriete irregular de los tornillos inutiliza estas juntas.

Ejercicios

Unión por apriete y por introducción a presión

Procedimientos de unión

1. Citar cinco grupos de los procedimientos de fabricación.
2. ¿En qué grupos se incluyen: redoblar, insertar, clavar, anudar?
3. ¿Qué procedimiento de unión sería apropiado (concepto general), para:
   a) Unir tubos por soldadura blanda,
   b) Rebordear el borde de un balde
   c) Llenar de bolas un cojinete,
   d) Embeber con aceite una junta?
4. Citar tres uniones desmontables y otras tres indesmontables no aflojables.
5. ¿Por qué se incluye la «contracción» entre las uniones desmontables?
6. Al hablar de no desmontable podemos referirnos a un pegamento o a una unión. Explicarlo.
7. ¿En qué puede basarse el cierre de una unión?
8. Citar un ejemplo de cada uno de los tipos de cierre de uniones.
9. ¿Qué forma de cierre hay en un tornillo de banco?
10. Explicar los efectos de las fuerzas en los distintos tipos de cierre de uniones.

Uniones roscadas

11. Explicar los tipos de las roscas métricas.
12. ¿Por qué una tuerca con rosca Whitworth no se adapta a un perno con rosca métrica?
13. Explicar: M 8, M 10 × 1,5, 1.
14. Indicar las designaciones para una rosca de tubo de 3/4" cónica y para otra cilíndrica.
15. Citar tres formas de roscas para husillos.
16. Explicar el procedimiento de unión «atornillar».
17. Citar las medidas principales de una rosca.
18. Explicar el concepto de «paso de rosca».
19. Indicar las roscas de un tensor.
20. ¿Por qué son distintas las roscas de los pedales de una bicicleta?
21. Hay que determinar el número de pasos de una rosca, ¿cómo?
22. Explicar el concepto de «autobloqueo» en las roscas.
23. ¿Qué ventajas tienen las roscas de paso pequeño?
24. ¿Qué ventajas tienen las roscas de paso grande?
25. ¿Qué misión tienen las roscas de movimiento?
26. Citar ejemplos de roscas de movimiento.
27. Designar exactamente la rosca del husillo de roscar de un torno.
28. ¿Qué partes de una unión por tornillos efectúan el cierre de fuerza?
29. Comparar las llaves de boca y las de estrella por la forma de usarlas.
30. Dibujar el esquema de las superficies de ataque de un destornillador en relación con la ranura de la cabeza de un tornillo.
31. Citar los defectos que se cometen al apretar tornillos.
32. Explicar qué es el «momento torsor de apriete».
33. ¿Cómo actúa la fuerza de tensión previa sobre el eje del tornillo?
34. ¿Qué acción ejerce la fuerza de tensión previa?
35. Dibujar el esquema de las fuerzas que actúan en una rosca cuyo pendiente es de 30° y la fuerza normal es de 600 N.
36. ¿Qué condición tiene que cumplirse para que haya autobloqueo?
37. Explicar qué es el «rozamiento de adherencia».
38. ¿De qué depende el coeficiente de rozamiento?
39. Explicar la fórmula $F_R = \mu \cdot F_N$.
40. Explicar con un ejemplo qué relación existe entre el pendiente de la rosca y el diámetro de la rosca.
41. ¿Qué rosca tiene mayor pendiente: la M 16 con $P = 2$, o la M 48 con $P = 5$?
42. Explicar la diferencia que hay entre paso de rosca y pendiente.
43. ¿Qué relación existe entre la pendiente y la magnitud de la fuerza de apriete?
44. ¿Qué se entiende por «profundidad resistente» de una rosca?
45. ¿Por qué se desgasta menos una rosca trapecial que una rosca triangular?
46. ¿Por qué una rosca triangular sólo debe emplearse excepcionalmente como rosca de movimiento?
47. Citar procedimientos de fabricación de roscas a mano.
48. Dibujar la sección longitudinal del perfil de una rosca e indicar sus dimensiones principales.
49. Razonar las diferencias entre los diámetros del perno y de la rosca en el tallado de roscas exteriores.
50. Las mordazas de roscar tangenciales tienen ventajas para el taller. Explicarlas.

51. ¿Por qué hay que cambiar las mordazas de roscar (terrajas) para las roscas de tubos?
52. Influencia que tiene sobre las características de la rosca que el diámetro del orificio del núcleo sea demasiado pequeño o demasiado grande.
53. Establecer un plan de trabajo para tallar una rosca interior M 10.
54. ¿Cuándo hay que utilizar machos de roscar de pasada única?
55. Comparar los machos de roscar para el acero y para metales ligeros.
56. Se mecanizan los materiales siguientes: acero, fundición gris, aleación de aluminio. Explicar la lubricación.
57. Comparar la fabricación de una rosca en torno o con peine de roscar.
58. ¿Qué diferencia fundamental existe entre fresa para roscas largas y fresa para roscas cortas?
59. ¿En qué métodos de fabricación de roscas se conservan las «fibras del material»?
60. ¿Qué posibilidades se tienen en el taller para tallar roscas exteriores y qué aplicaciones tienen?
61. Explicar las dimensiones principales de una rosca.
62. Explicar la posición del campo de tolerancia de una rosca con dimensiones toleradas.
63. Explicar la diferencia entre los campos de tolerancias H 6 y 6 H.
64. ¿Qué significan M 10-6 H y M 10-6 h?
65. Con los datos del ejercicio anterior, componer un ajuste de roscas.
66. ¿Que se puede comprobar en una rosca con un pie de rey?
67. Explicar la diferencia entre un calibre macho de tolerancia para roscas y un calibre «pasa» para roscas.
68. ¿Qué ventajas tienen los calibres de boca de tolerancia para roscas?
69. ¿En qué se distingue el lado pasa de un calibre macho de tolerancia para roscas?
70. ¿Cómo se ajusta el calibre de boca de tolerancia con rodillos para rosca para una tolerancia determinada?
71. ¿Qué dos medidas de la rosca son las que mejor informan sobre su forma?
72. ¿Cómo puede medirse el diámetro «invisible» sobre los flancos?
73. No todo se puede medir en las roscas con calibres, pero es necesario comprobar exactamente una rosca. ¿Cómo hay que proceder?
74. ¿Cuándo posee una rosca un cierre de fuerza y cuándo uno de forma?
75. ¿Qué características diferenciales existen para los tornillos?
76. Explicar que es la «forma de accionamiento».
77. Citar tornillos «sin cabeza».
78. Los orificios para los tornillos de chapa tienen que cumplir una condición especial. ¿Cuál es?
79. Indicar cinco formas distintas de aplicación de los tornillos según la forma de su cabeza.
80. ¿En qué se diferencian los vástagos de los tornillos?
81. Explicar la diferencia entre las uniones con tornillos de vástago macizo y con tornillos de ajuste.
82. Las cabezas cilíndricas de los tornillos suelen tener mecanizadas las formas para su accionamiento. Citarlas.
83. Citar diversas formas de cabezas de tornillo ranuradas.
84. ¿Qué ventajas tienen los tornillos con ranura en cruz?
85. Citar diversas formas de accionamiento de tornillos para atornillar a mano.
86. ¿En qué se distingue la parte de atornillar en un espárrago?
87. ¿Para qué se utilizan los tornillos prisioneros?
88. Citar formas de tuercas.
89. Designación exacta de una tuerca hexagonal.
90. ¿Para qué sirven las tuercas bajas?
91. ¿Qué ventaja tiene una tuerca de corona?
92. ¿Con qué herramienta se aprietan las tuercas de ranura?
93. ¿En qué se diferencian los tornillos en cuanto a precisión?
94. ¿Con qué exactitud se fabrican las tuercas cuando no se indica nada concreto?
95. Debajo de las tuercas suele colocarse una arandela. Explicar por qué.
96. ¿Por qué son tan importantes los datos sobre las propiedades de los materiales de los tornillos y tuercas?
97. Explicar qué son el límite de alargamiento y la resistencia a la tracción.
98. Explicar las designaciones de los materiales para los tornillos 4.6, 5.8, 6.8.
99. ¿Qué ventaja tiene la elección de una clase de resistencia más elevada?
100. ¿Qué tornillo podría utilizarse en lugar del M 12-4.8? Tener en cuenta la sección.
101. ¿Qué tuerca se necesita en el ejercicio 100?
102. Situar un tornillo 6.8 en un diagrama tensión-alargamiento. Dibujar un esquema.
103. Explicar la ventaja del tornillo con cuello de dilatación.
104. Explicar los tres estados de solicitación en los tornillos con cuello de dilatación.
105. Citar ejemplos de aplicación de los tornillos con cuello de dilatación.
106. ¿Cómo puede impedirse que se retuerzan los tornillos con cuello de dilatación al apretar la tuerca?
107. ¿Cómo funciona una llave dinamométrica?
108. ¿Por qué lo primero que se alarga en un tornillo de vástago macizo es la rosca y en uno de cuello de dilatación es el vástago?
109. ¿Cuándo equivaldría la fuerza de alargamiento de un tornillo de vástago macizo a la de un tornillo con cuello de dilatación?
110. ¿Cómo pueden absorberse las fuerzas transversales en una unión atornillada?
111. ¿En qué consiste la diferencia entre un anillo centrador y un resalte de centraje?
112. En una unión atornillada deben evitarse los esfuerzos cortantes. ¿Cómo se consigue?
113. Entre dos uniones atornilladas con tornillos iguales ¿cuál fallaría primero a esfuerzo cortante?
114. ¿Cuándo son necesarios los seguros para tornillos?
115. Explicar los cuatro casos típicos de seguro.
116. Explicar las diferencias entre los seguros para tornillos que funcionan por cierre de fuerza y por cierre de forma.
117. ¿Por qué son más eficaces los seguros para tornillos que actúan por cierre de forma que los que actúan por cierre de fuerza?
118. ¿Cuándo hay que recurrir a los productos adhesivos como seguro para tornillos o tuercas?
119. Explicar las tensiones inversas entre los filos de contratuercas.
120. Comparar los seguros por cierre de forma, por cierre de fuerza y por material en cuanto a su efecto.
121. Citar cinco casos prácticos de seguros para tornillos y razonar la aplicación del seguro.
122. ¿Qué misión tienen las juntas?
123. ¿En qué condiciones pueden estanqueizarse las superficies sin intercalar juntas?
124. ¿Por qué no hay que aplicar con espátula las masillas?
125. De qué son las juntas planas.
126. Citar juntas perfiladas.
127. ¿Por qué es importante el orden de apriete de los tornillos?
128. ¿Por qué hay que cambiar por completo las juntas planas después de desmontarlas?

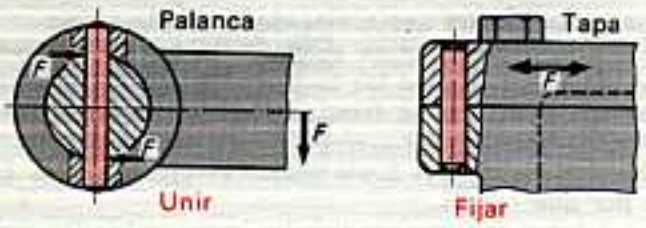


Figura 3-506. Unión de piezas con pasadores.

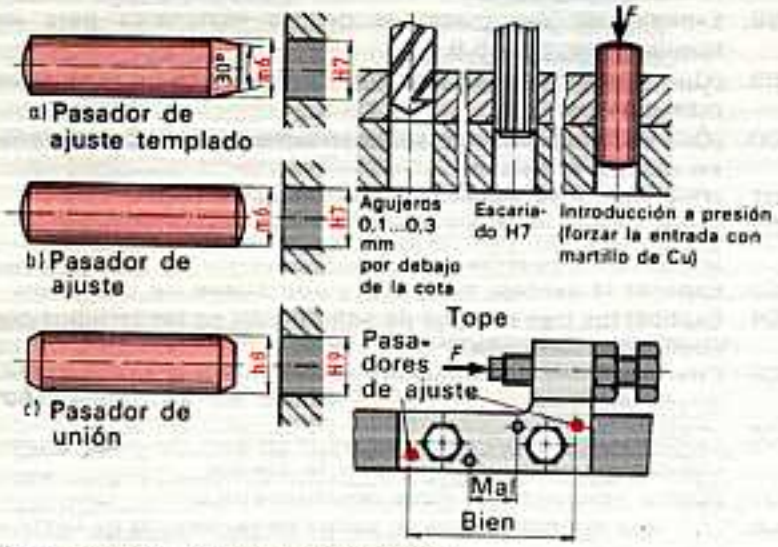


Figura 3-507. Pasadores cilíndricos.

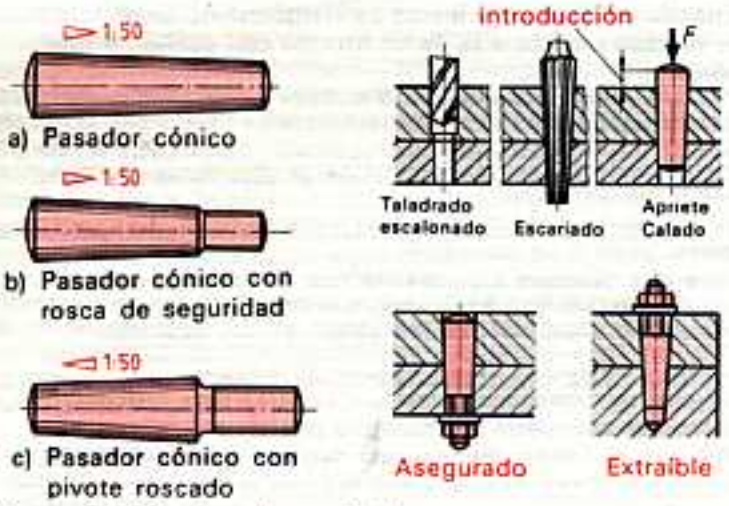
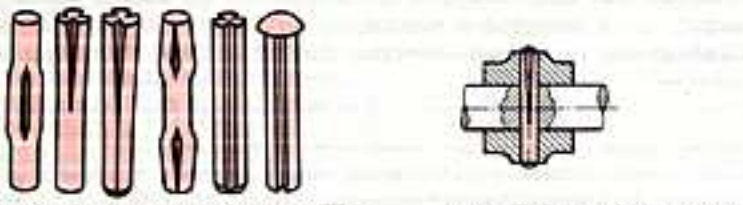


Figura 3-508. Pasadores cónicos.



Pasadores estriados de muletilla, de ajuste, cónicos, con espiga cilíndrica, y cilíndricos; clavo entallado

Pasador estriado para fijación y seguro

Figura 3-509. Pasadores estriados.



Figura 3-510. Pasadores de tensión)casquillos de tensión).

3.8.3 Uniones con pasadores

Las uniones con pasadores tienen dos misiones:

1. **Unir piezas como volantes de mano, palancas, pequeños engranajes, manivelas, etc. a ejes.**
2. **Fijar piezas, como tapas de carcasas, regletas, topes, piezas de herramientas de corte, etc. para asegurarlas contra deslizamientos y para que queden en su posición primitiva cada vez que se monten. Los pasadores están solicitados a esfuerzo cortante.**

PASADORES CILÍNDRICOS

Los diversos tipos de pasadores cilíndricos se diferencian por la **forma del extremo** (cónico, bombeado, biselado), por la **tolerancia de medidas** (m 6, h 8, h 11), por la **calidad de su superficie** y por el **material** (acero para herramientas o acero de construcción).

a) **Pasadores de ajuste templados.** Son de acero para herramientas por lo que pueden resistir grandes esfuerzos transversales. Extremos cónicos a 30°. Se utilizan en la fabricación de herramientas para montajes, moldes de acero.

b) **Pasadores de ajuste normales.** Son de St 50 o de St 60 y se utilizan en la construcción de máquinas como pasadores de cizallamiento (pasadores de seguridad).

c) **Pasadores de unión.** Son de St 40 a St 50 y sirven para funciones secundarias, por ejemplo, para charnelas y articulaciones en las uniones móviles.

Unión con pasadores cilíndricos. Los orificios para los pasadores se taladran con una cota inferior en 0,1 a 0,3 mm y se escarian a H 7 (ajuste a presión) o H 9 (ajuste con juego). Los orificios para remaches no se escarian.

Disposición de los pasadores. Los pasadores para fijar la posición de piezas deben disponerse a la mayor distancia posible entre sí, para que por las condiciones favorables de la palanca, resulten pequeños los esfuerzos cortantes.

PASADORES CÓNICOS

Tienen una conicidad de 1:50. El diámetro menor es igual al diámetro nominal porque el orificio debe practicarse de acuerdo con él. Se pueden soltar cuantas veces se quiera sin que se perjudique la efectividad de la unión.

Las roscas en los pasadores sirven para asegurarlos si hay vibraciones muy fuertes o para quitarlos de los orificios ciegos.

PASADORES ESTRIADOS

En la superficie lateral, de forma cilíndrica llevan tres entalladuras que forman resaltos. La forma y la longitud de las entalladuras son las que determinan los tipos de pasador. No es necesario escariar los orificios para pasadores estriados.

PASADORES DE TENSIÓN (CASQUILLOS DE TENSIÓN)

Se fabrican por arrollamiento de un fleje de acero para muelles. Al introducir los casquillos en los orificios, que no se escarian, por la fuerza elástica del muelle se aprietan contra las paredes. Estas uniones pueden soltarse frecuentemente.

3.8.4 Uniones enchavetadas

Las chavetas tienen una inclinación de 1:100. Al introducir la chaveta con la fuerza *F* quedan sujetos entre sí el eje y el cubo.

FUERZAS EN LAS UNIONES ENCHAVETADAS

Las fuerzas normales F_N producen un rozamiento por medio del cual se transmite el momento torsor M_{tor} del eje al cubo. Por esta razón, la unión con chavetas puede considerarse como una unión con cierre de fuerza. Las caras laterales de la chaveta sólo intervienen en la transmisión del momento torsor cuando éste se hace mayor que la fuerza de rozamiento. En ese caso, la unión con chavetas funciona como unión con cierre de forma. Como los cubos (ruedas) fijados con chavetas no tienen un movimiento concéntrico exacto, la unión con chavetas sólo puede utilizarse para fines de segundo orden.

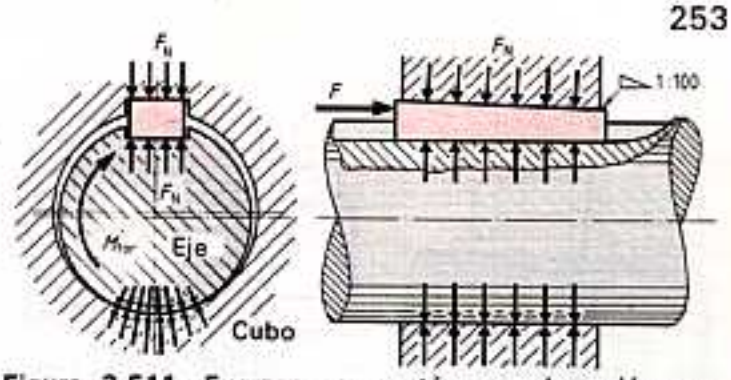


Figura 3-511. Fuerzas que actúan en la unión con chavetas.

TIPOS DE CHAVETAS

La **chaveta embutida** se coloca en las ranuras del cubo de la rueda y del eje y, si es solicitada con cierre de forma, es capaz de transmitir grandes momentos torsores.

La **chaveta plana** sólo puede actuar con cierre de forma condicionalmente, por lo que sólo puede transmitir momentos torsores reducidos. En el eje sólo se aplana una zona.

La **chaveta cóncava** sirve para fijar ruedas pequeñas colocadas ulteriormente sobre ejes ya montados. Como no actúa con cierre de forma, tampoco puede transmitir momentos torsores grandes.

La **unión por chavetas tangenciales** se utiliza cuando hay que transmitir momentos torsores muy grandes y de sentido de giro alternativo. El momento torsor se transmite exclusivamente con cierre de forma.

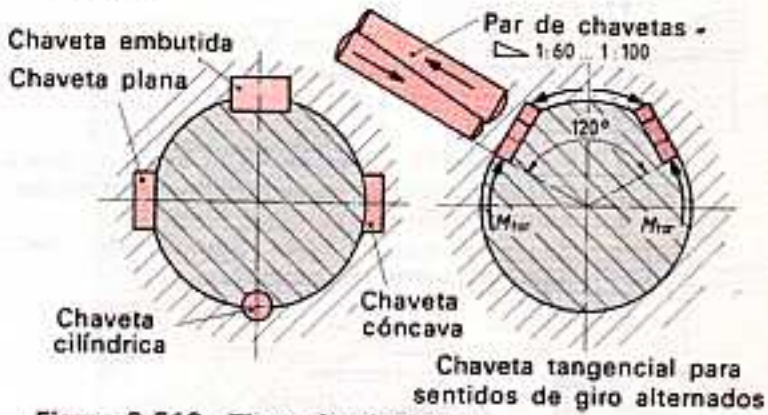


Figura 3-512. Tipos de chavetas.

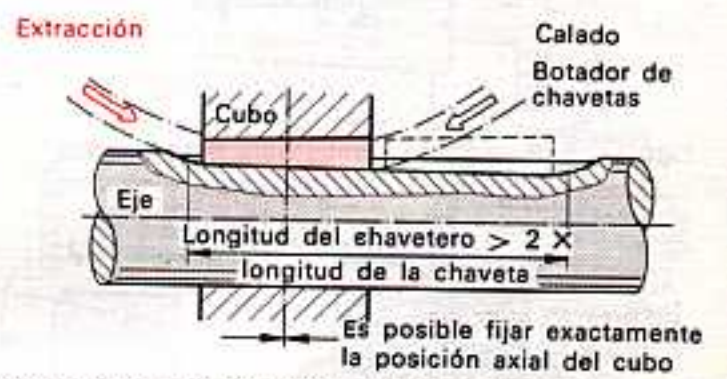


Figura 3-513. Introducción de una chaveta de empuje.

TIPOS DE MONTAJE DE LAS CHAVETAS

Las chavetas se utilizan como **chavetas de empuje** cuando a ambos lados de ellas existe espacio suficiente para introducirlas y extraerlas. La ranura del eje ha de tener una longitud superior al doble de la de la chaveta. Puede establecer con exactitud la posición axial del cubo.

Las **chavetas con talón** sólo se utilizan cuando no es posible extraer la cuña empujándola por el extremo opuesto. La chaveta puede quitarse con un extractor de chavetas. La posición axial del cubo puede establecerse exactamente. ¡Debe tenerse cuidado con las chavetas de talón colocadas en el extremo de un eje!

Las **chavetas embutidas** tienen los extremos redondeados y se colocan en una ranura de la misma forma que hay en el eje. Como el cubo de la rueda se monta con dificultad (gran inercia) y la posición axial del cubo no se puede establecer exactamente, este tipo de chavetas se utiliza poco.

Con las **chavetas transversales** se establecen uniones rígidas entre los extremos de barras. Las aberturas para la colocación de las chavetas se taladran, estampan o liman.

Ejemplos de designación de chavetas:

Chaveta plana	DIN 6883 – 10 × 6 × 50
Chaveta cóncava	DIN 6881 – 10 × 4 × 25
Chaveta plana con talón	DIN 6884 – 8 × 5 × 20

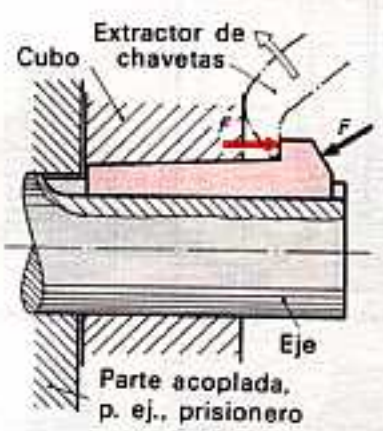


Figura 3-514. Chaveta de talón.

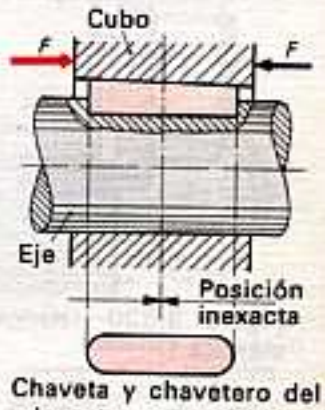


Figura 3-515. Chaveta embutida.

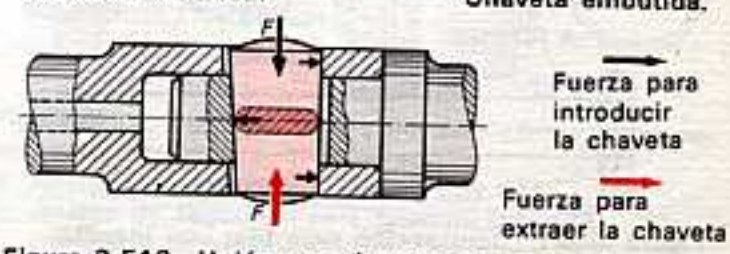


Figura 3-516. Unión por chavetas transversales.

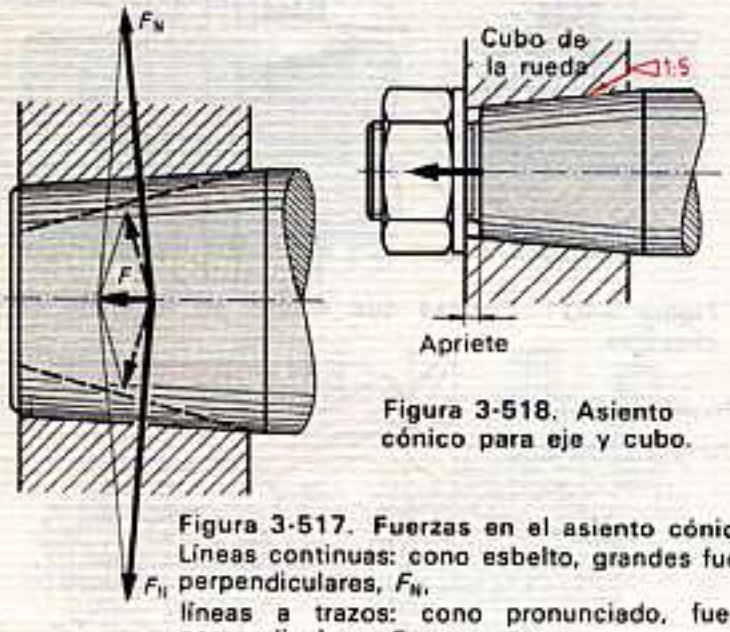


Figura 3-518. Asiento cónico para eje y cubo.

Figura 3-517. Fuerzas en el asiento cónico. Líneas continuas: cono esbelto, grandes fuerzas perpendiculares, F_N. líneas a trazos: cono pronunciado, fuerzas perpendiculares F_N pequeñas.

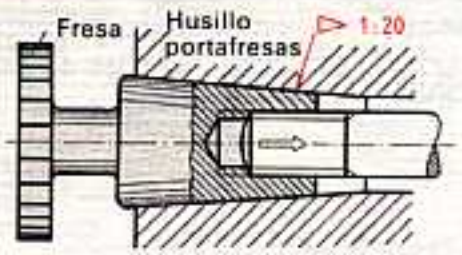


Figura 3-519. Asiento cónico para herramientas.

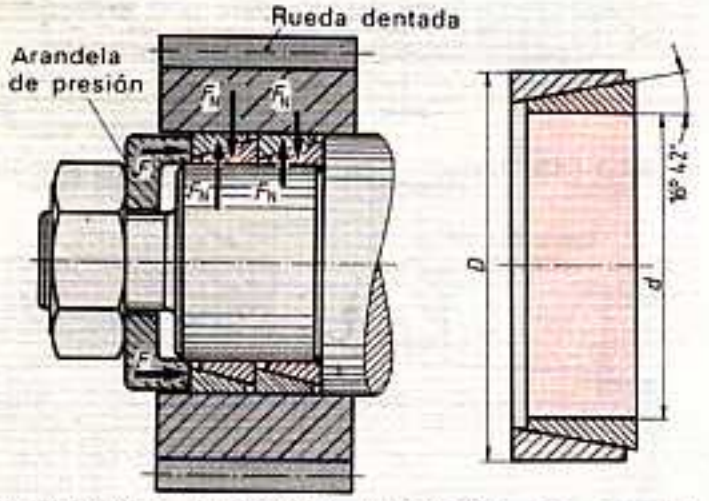


Figura 3-520. Dispositivo de tensión con arandela elástica.

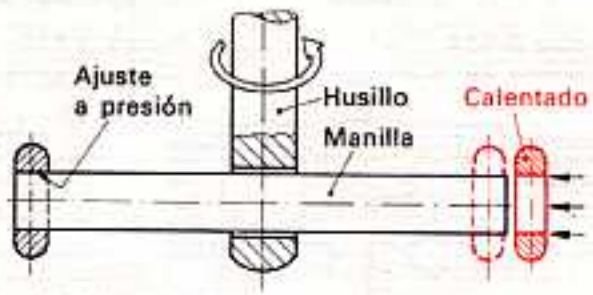


Figura 3-521. Contracción para fijar una manilla.

3.8.5 Uniones a presión

En la unión a presión existe una sobremedida entre las partes interior y exterior. Las fuerzas necesarias para la unión pueden actuar a lo largo de la pieza de unión (introducción a presión) o radialmente (contracción, dilatación). (Véase también pág. 343.)

UNIONES A PRESIÓN CON ASIENTO CÓNICO

El pivote cónico se introduce a presión en el taladro cónico con la fuerza *F*. Por la pendiente de la superficie lateral del cono se producen unas fuerzas normales F_N grandes que, a su vez, producen el rozamiento entre el pivote y el cubo de la rueda.

Conos esbeltos (conos de adherencia), por ejemplo, de conicidad 1:20, producen fuerzas normales grandes y, por lo tanto, un gran rozamiento entre ambas superficies cónicas.

Conos pronunciados (conos centradores), por ejemplo, de conicidad 1:5, a igualdad de fuerza de compresión *F* producen fuerzas normales menores y menos rozamiento. Puede montarse y desmontarse con mayor facilidad.

Ventajas del asiento cónico: Mayor facilidad de fabricación. La unión puede soltarse cuantas veces se quiera sin perjuicio de la efectividad; el centrado es exacto y, por lo tanto, el eje y el cubo de la rueda giran perfectamente concéntricos.

Un **inconveniente** es que no puede fijarse exactamente en dirección axial la posición del pivote cónico y el cubo de la rueda.

Fabricación y montaje. La conicidad del cono y del taladro deben coincidir lo más exactamente posible para que las caras laterales de ambos conos asienten perfectamente. Las superficies de contacto se tornean con precisión o se rectifican perfectamente. En los asientos cónicos para fijación de herramientas, por ejemplo brocas helicoidales o fresas, las superficies cónicas de asiento están templadas. Todo desperfecto de las superficies de asiento por presión o por golpes reduce el rozamiento e impide que el giro sea exactamente concéntrico.

UNIONES A PRESIÓN CON ELEMENTOS DE TENSIÓN

Dos anillos de acero bonificado que encasta uno en otro, se dilatan o comprimen por la acción de la rueda del tornillo *F*, produciéndose así la fuerza normal F_N que se necesita. La fuerza normal se reduce de elemento en elemento por lo que, como máximo, se colocan cuatro elementos.

UNIONES A PRESIÓN POR CONTRACCIÓN Y DILATACIÓN

Las piezas, al calentarlas, se dilatan, al enfriarse se contraen. En el caso de contracción, la pieza fabricada con ajuste a presión se calienta. Se corre así el peligro de combustión (oxidación) y deformación. La pieza caliente se comprime y enfría sobre la parte interior. En el caso de dilatación, la pieza interior se enfría a muy baja temperatura y se introduce así en la pieza exterior. No se producen así ni combustiones, ni deformaciones ni cambios de textura de los materiales.

3.9 Unión por composición

3.9.1 Uniones con bulones

Composición significa componer (unir) presas, por ejemplo, por aplicación, inserción, introducción, enganche.

Los bulones se utilizan como ejes cortos para uniones articuladas o para sostener rodillos de rodadura, poleas para cables, etc.

FORMAS DE LOS BULONES

Siempre es más económico utilizar bulones con medidas normalizadas que fabricarlos especialmente.

Los bulones se suministran con orificio para pasador o sin él. En el pedido de los bulones o al elegirlos se ha de tener en cuenta la longitud de empotramiento. Se calcula sumando los espesores de todas las piezas, el de la polea y un juego axial.

MATERIAL DE LOS BULONES

Los bulones trabajan a flexión y a cortadura.

Bulones sin cabeza: acero redondo estirado de 9 S 20 K, St 50 K, C 35 K.

Bulones con cabeza: St 50, St 60, C 35.

Bulones con pivote roscado: Material para tornillos 5.6.

MONTAJE DE LOS BULONES

Las uniones con bulones son, casi siempre, uniones móviles. Por lo tanto han de preverse ajustes con juego. Los vástagos de los bulones tienen una tolerancia h 11. En la mayoría de las uniones articuladas con bulones es válida la regla siguiente: el bulón debe asentar fijo en la horquilla; el ojo de la pieza, que suele ser más ancho, ha de girar sobre el bulón. Para este caso, los taladros de la horquilla tienen un ajuste holgado ajustado, por ejemplo, H 8 a H 11, y los de los ojos un ajuste con mayor tolerancia, por ejemplo, A 11, B 11, C 11, D 11, D 9. Si el bulón se emplea en piezas giratorias de la máquina (poleas para cable, ruedas de rodadura, etc.) el ajuste entre el bulón y la rueda será como en un cojinete de fricción y el taladro tendrá tolerancia según E 9 o D 10. Para poder engrasar el bulón se emplean en este caso bulones con orificios axiales de engrase y engrasadores roscados (niples).

SEGURO DE LOS BULONES CONTRA DESPLAZAMIENTO AXIAL

Los **pasadores de aletas** son baratos y de fácil aplicación. Sin embargo, sólo pueden utilizarse una vez.

Anillos de seguridad (anillos Seeger), absorben grandes esfuerzos axiales. Las ranuras anulares tienen que tener los cantos vivos y han de tallarse exactamente con las medidas de la tabla.

Las arandelas de seguridad pueden colocarse fácilmente, pero sólo absorben esfuerzos axiales reducidos.

Los **anillos elásticos** son anillos de alambre de acero introducidos en una ranura semitórica hasta la mitad de su diámetro.

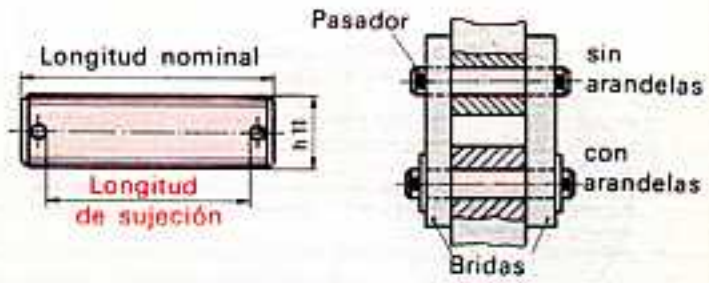


Figura 3-522. Bulones sin cabeza con orificios para pasadores o sin ellos DIN 1433.

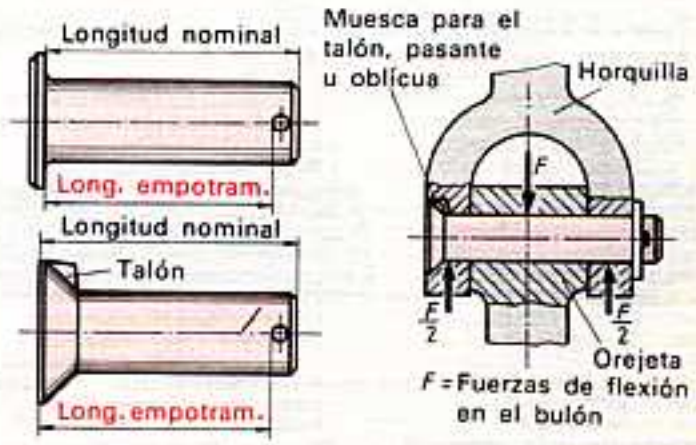


Figura 3-523. Bulones con cabeza con orificios para pasadores o sin ellos DIN 1434, 1435, 1436 y 1439.

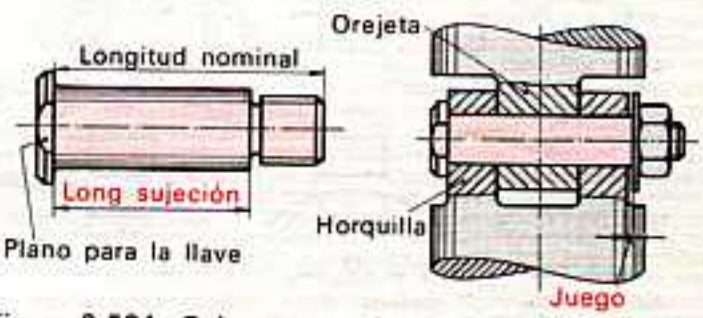


Figura 3-524. Bulones con pivote roscado DIN 1438.

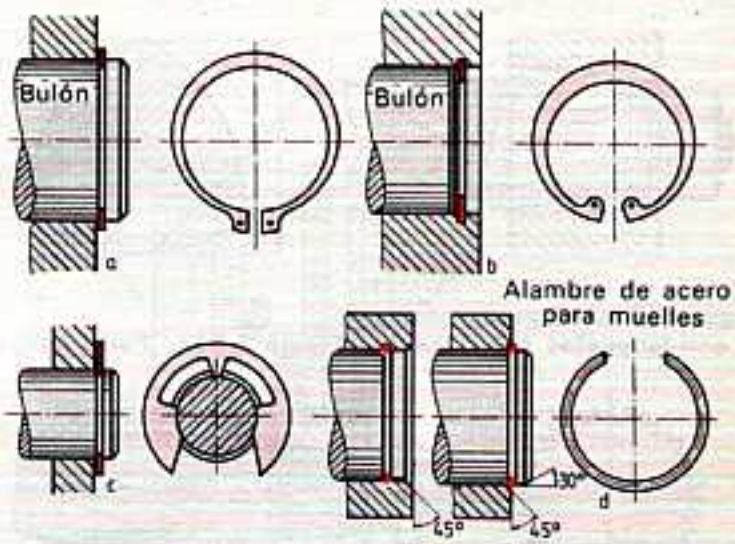


Figura 3-525. Seguro de los bulones contra desplazamiento axial.

a) Anillos de seguridad para ejes DIN 471
b) Anillos de seguridad para taladros DIN 472
c) Arandelas de seguridad para ejes DIN 6799
d) Anillos elásticos para ejes y taladros DIN 9035

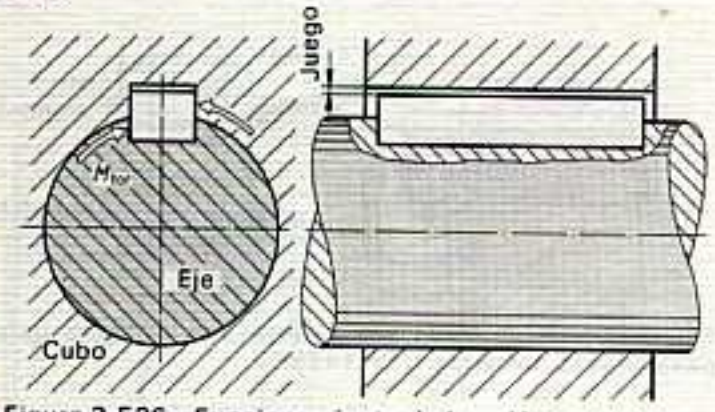
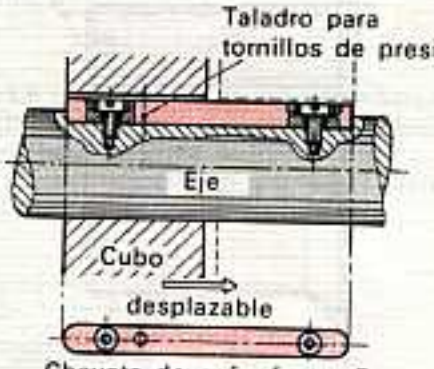


Figura 3-526. Funcionamiento de la unión con chavetas de ajuste (paralelas).



Chaveta de guía, forma A

Figura 3-527. El cubo está fijo.



Chaveta de guía, forma E

Figura 3-528. El cubo es desplazable.

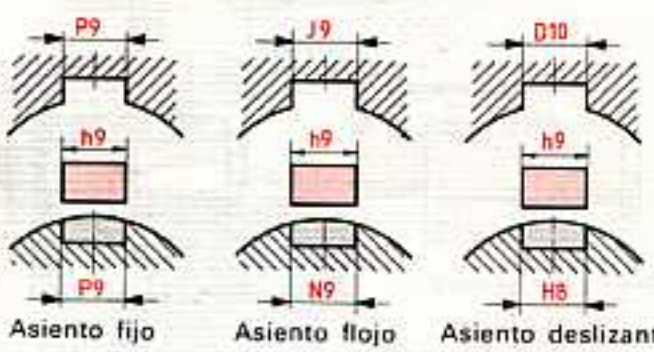


Figura 3-529. Ajustes para chavetas de ajuste.

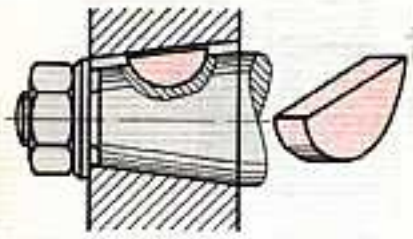


Figura 3-530. Asiento cónico con lengüetas redondas.

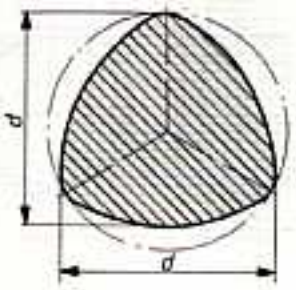


Figura 3-531. Perfil poligonal.

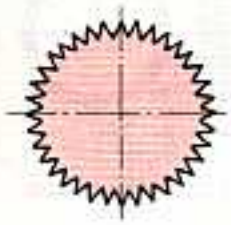


Figura 3-532. Estriado triangular.

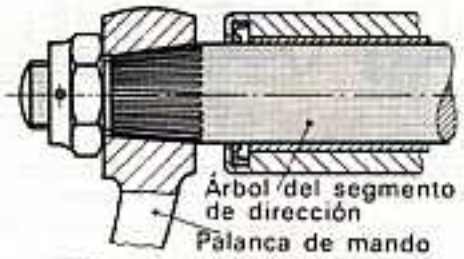


Figura 3-533. Unión en el mecanismo de dirección.

3.9.2 Uniones por encaje (inserción)

Por medio de las uniones con chavetas de guía y otras uniones análogas (árbol acanalado, etc.) se transmiten con cierre de forma los momentos torsores.

UNIONES CON CHAVETAS DE GUÍA (CHAVETAS PARALELAS)

Las chavetas de guía o chavetas paralelas tienen sus caras opuestas paralelas y transmiten el momento torsor por apoyo de sus caras laterales en la ranura. Entre el fondo de la ranura del cubo de la rueda y la chaveta de guía puede haber un huelgo de 0,2 mm como máximo.

Dos formas de montaje de las chavetas de guía

El cubo de la rueda está fijo, cuando los momentos torsores son grandes y la zona de montaje es bien accesible: acoplamientos, ruedas en los extremos de un árbol. Entre la chaveta y la ranura se prevé ajuste a presión. Montaje: Colocar derecho el cubo de la rueda, y golpearlo fuerte con un martillo intercalando antes un trozo de tubo para protegerlo. Si la zona de montaje es poco accesible, por ejemplo en el montaje de una caja de cambios, y si la unión ha de desmontarse con frecuencia, habrá que prever ajustes de transición entre la chaveta de guía y la ranura.

Cuando el cubo de la rueda es desplazable, como en las ruedas corredizas de las cajas de cambio y cuando los momentos torsores son pequeños, la longitud de la chaveta de guía tiene que corresponderse con la longitud de desplazamiento más la anchura del cubo. Estas chavetas de guía (también denominadas chavetas de deslizamiento) se fijan a la ranura del árbol con uno o varios tornillos, asegurándolas así contra posibles caídas (téngase en cuenta la fuerza centrífuga cuando el número de revoluciones es grande). Entre la ranura del cubo de la rueda y la chaveta de guía se elige un ajuste con juego amplio para que el cubo pueda deslizarse fácilmente. Un ajuste con juego más estricto (no ajuste a presión) es el que se elige entre la ranura del árbol y la chaveta de guía para que ésta pueda montarse fácilmente a pesar de su longitud.

UNIONES CON LENGÜETAS

Este tipo de chavetas se ajusta por sí mismo a las ranuras oblícuas del cubo de la rueda y se fabrican fácilmente. La lengüeta transmite o momentos torsores (grandes dimensiones, normalmente en árboles cilíndricos) o sólo tiene que fijar el cubo de la rueda (pequeñas dimensiones, asiento cónico). La sección del árbol se debilita por la profundidad de la ranura.

UNIONES CON EJES PERFILADOS

Los **perfiles poligonales** tienen la ventaja de que apoyan en tres puntos, por lo que se centran por sí mismos. No hay efecto de entalladura, su fabricación es sencilla (los árboles se tornean y rectifican, los cubos se brochan).

El **estriado triangular** tiene la ventaja de que los numerosos dientes dan por resultado una buena distribución del momento torsor y ofrecen una buena posibilidad del ajuste fino de la pieza enchufada sin la necesidad de cambiar la forma del árbol ni del cubo. Es necesario un seguro lateral o una compresión sobre la pieza encajada por medio de un tornillo de sujeción.

El **árbol acanalado** (DIN 5461 a 5465) se encuentra en cualquier engranaje. Tiene la ventaja de que un gran número de ranuras (4 a 20) se hacen cargo constantemente de la transmisión uniforme de las fuerzas en todo el perímetro. Téngase presente que los árboles acanalados no tienen ninguna «pendiente» ni «apriete».

El **árbol acanalado**, el **perfil poligonal** y el **estrellado** se han desarrollado para cubos desplazables y por sus ventajas han sustituido a las chavetas de deslizamiento. Estas tres uniones pueden transmitir grandes momentos torsores con cambio de sentido de giro.

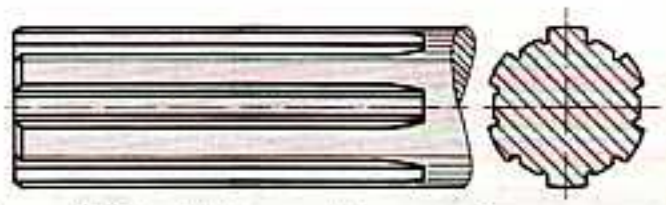


Figura 3-534. Árbol acanalado con seis ranuras.

FABRICACIÓN DE CHAVETEROS

En fabricación pieza a pieza, los **chaveteros de los cubos** se fabrican en mortajadoras verticales. En la fabricación en serie, es más económico brochar los chaveteros en brochadoras o mortajadoras de chaveteros. En el mecanizado de los chaveteros para chavetas de guía, los cubos se colocan rectos sobre la mesa de la máquina. Los chaveteros para uniones con chaveta tienen una inclinación de 1:100. Al mortajar estos chaveteros el cubo se coloca inclinado por medio de un apoyo cuneiforme. En el brochado, la brocha lleva un suplemento cuneiforme en su parte posterior.

Los **chaveteros de árbol** son siempre paralelos al eje del árbol. En la fabricación pieza a pieza se fabrican con fresas cilíndricas sobre fresadoras de consola mientras que en la fabricación en serie se hacen en fresadoras para chaveteros. Los chaveteros de árbol largos para chavetas cónicas y para chavetas con talón, o para chavetas de guía de cara frontal recto, se fresa con fresas de disco en fresadoras de consola.

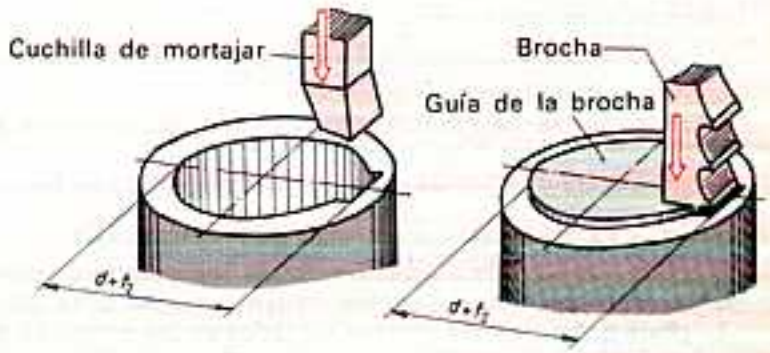


Figura 3-535. Fabricación de chaveteros en cubos.

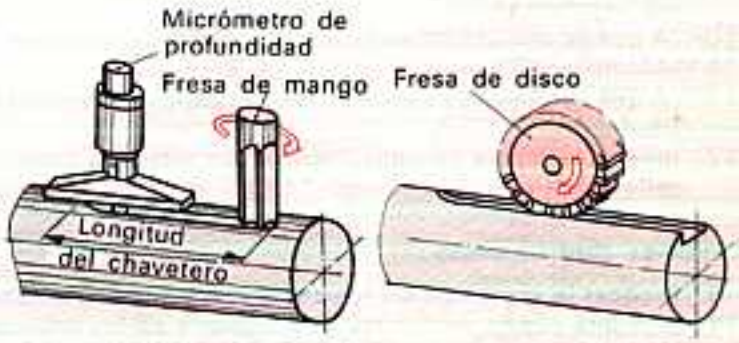


Figura 3-536. Fabricación de chaveteros en ejes.

VERIFICACIÓN DE CHAVETEROS

Una unión con chavetas de guía durará mucho tiempo sin complicaciones para el servicio y no se deteriorará al cabo de poco tiempo de uso si se cumplen concienzudamente las tolerancias de medidas admisibles y los datos de ajuste. Para la profundidad del chavetero, se admiten tolerancias de 0,1 a 0,3 mm, según el diámetro.

La profundidad de los chaveteros de los cubos puede medirse con el pie de rey. Las anchuras del chavetero se miden con el calibre de tolerancia o con galgas paralelas. Los aparatos para la verifi-

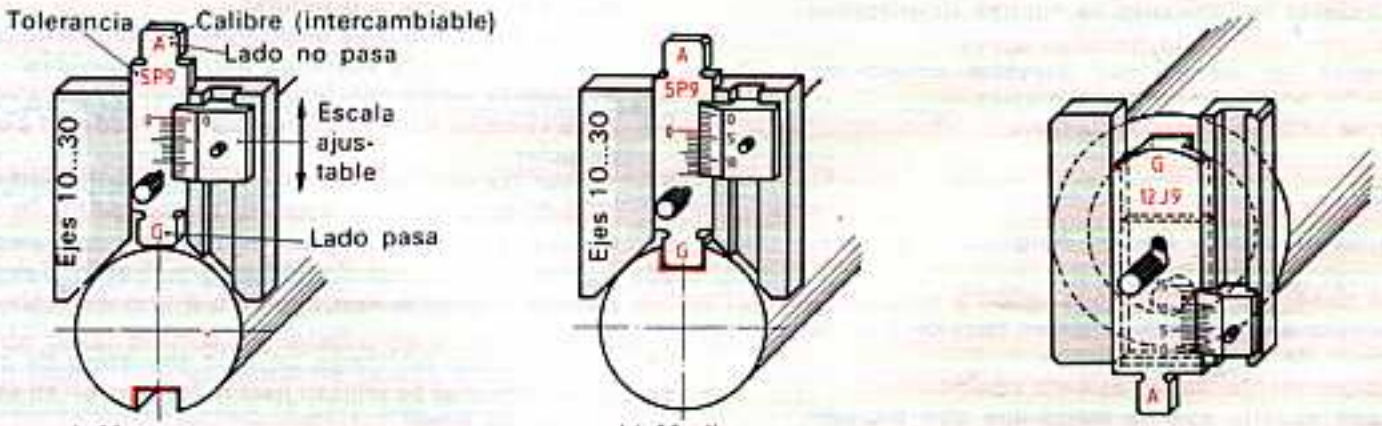


Figura 3-537. Aparato para comprobación de chaveteros.
a) **Ajustar a cero el calibre**: Colocar el calibre sobre el eje y ajustar a 0 la escala del aparato.
b) **Medir la profundidad del chavetero y calibrar su anchura**: introducir el calibre en el chavetero y leer la profundidad. El lado de pasa G debe penetrar en el chavetero, el lado no pasa A no debe entrar.
c) **Comprobar un chavetero de cubo en un eje hueco.**

cación de chaveteros sustituyen a todos los demás procedimientos de ensayo que, en muchos casos, son laboriosos. Cada uno de estos aparatos lleva un juego de pies de rey para los distintos anchos de chavetero y tolerancias.

Ejercicios

Uniones por apriete y por introducción a presión

Uniones con pasadores

1. ¿Cuáles son las dos misiones de los pasadores cilíndricos, cónicos y entallados?
2. ¿Por qué se colocan lo más alejados posible entre sí los pasadores para fijar la posición de piezas?
3. Indicar las diferencias entre los distintos tipos de pasadores cilíndricos.
4. ¿Qué se entiende por pasador de cizallamiento?
5. ¿Qué ventajas de aplicación tienen los pasadores cónicos?
6. ¿Qué relación de conicidad tienen los pasadores cónicos?
7. ¿Para qué sirven los pivotes roscados en los extremos de los pasadores cónicos?
8. Indicar las diferencias entre las distintas formas de pasadores entallados.
9. ¿Por qué no hace falta escariar los orificios para los pasadores entallados?
10. ¿A qué se debe la adherencia de los anillos entallados en sus orificios?
11. ¿A qué se debe el asiento de los casquillos de tensión en los taladros?
12. Indicar ejemplos de utilización de los distintos tipos de pasadores.

Uniones con chaveta

13. Explicar la acción de las fuerzas en las uniones con chaveta.
14. ¿Por qué puede producirse desequilibrio en las uniones con chaveta?
15. Explicar los distintos tipos de chavetas con respecto al criterio del cierre de forma.
16. ¿Qué inclinación tienen las chavetas (a excepción de las chavetas tangenciales)?
17. ¿Cuándo se utilizan chavetas de empuje?
18. Citar las ventajas e inconvenientes de las chavetas con talón.
19. ¿Por qué las chavetas tangenciales se montan desplazadas 120°?
20. ¿Qué posibilidades hay de sustituir chavetas embutidas?
21. Explicar una unión por chavetas transversales.
22. ¿En qué casos se utilizan chavetas tangenciales?

Uniones a presión

23. Citar ejemplos de uniones a presión longitudinal y transversal.
24. ¿Qué condición tiene que cumplir toda unión a presión ?
25. Explicar el concepto de «resbalamiento» en relación con las uniones con cierre de fuerza y de forma.
26. Explicar el funcionamiento de un asiento cónico.
27. ¿Por qué un cono esbelto asienta mejor que otro pronunciado?
28. ¿Qué ventajas e inconvenientes tienen los asientos cónicos?
29. ¿Cómo deben mecanizarse las superficies laterales cónicas de los asientos cónicos?
30. ¿Por qué se utilizan, como máximo, cuatro elementos tensores en los elementos de tensión por muelle anular?
31. Explicar la diferencia entre las uniones por contracción y por dilatación.
32. ¿Qué significa el cascarillamiento con relación a unión a presión?

Unión por composición

Uniones por bulones

33. ¿Qué es un bulón?
34. Indicar las diferencias entre las distintas formas de bulones.
35. ¿Qué se entiende por «longitud de empotramiento» en los bulones?
36. ¿Qué tipos de solicitación se presentan en los bulones?
37. Citar y explicar los materiales utilizados para los bulones.
38. ¿Por qué se indica la resistencia del material en los bulones con pivotes roscados?
39. Explicar las designaciones de material para los anillos de seguridad de acero para muelles HRC = 44 a 49 o HV = 4400 a 5100 N/mm²?
40. ¿Cómo se aseguran los pernos?
41. ¿Qué regla vale para la elección de ajustes, si hay que fabricar una unión por horquilla?
42. Indicar las diferencias entre los anillos de seguridad para ejes y los de agujeros.

Uniones por encajado

43. ¿Cómo actúan las uniones enchavetadas?
44. ¿Qué diferencia existe entre las uniones con chaveta y las uniones con chaveta de guía?
45. Indicar las diferencias entre los dos tipos de montaje de las chavetas de guía:
    a) el cubo está fijo
    b) el cubo es desplazable.
46. ¿Por qué hay que fijar al fondo del chavetero o ranura del árbol las chavetas de guía largas (también llamadas chavetas de deslizamiento)?
47. ¿A qué se rige la elección de los ajustes entre la chaveta de guía y el chavetero o ranura?
48. ¿Por qué la chaveta de deslizamiento sólo se utiliza en aquellos casos en que aparecen fuerzas reducidas?
49. Explicar la unión con lengüetas.
50. ¿Qué ventajas tiene una lengüeta con respecto a una chaveta de guía?
51. Indicar las ventajas de un árbol con perfil poligonal.
52. ¿Dónde se emplea el estriado triangular?
53. Explicar el funcionamiento de un árbol acanalado.
54. ¿Qué ventajas tienen el perfil poligonal, el árbol acanalado y el estriado triangular con respecto a la unión con chaveta de guía?
55. ¿Cómo puede fabricarse un solo chavetero de cubo?
56. ¿Qué máquinas se utilizan para la fabricación en serie de chaveteros de árbol?
57. ¿Cómo se fabrica un chavetero inclinado?
58. ¿Qué longitud han de tener los chaveteros?
59. ¿Con qué exactitud se han de fabricar los chaveteros?
60. ¿Cómo puede medirse un chavetero de cubo?
61. ¿Qué aparatos de verificación se necesitan para medir las anchuras de los chaveteros?
62. Explicar el funcionamiento de un aparato de comprobación de chaveteros.

3.10 Unión por conformación

3.10.1 Uniones remachadas

La unión se realiza por conformación de las piezas a juntar o de las piezas auxiliares de unión. Ejemplos para piezas de unión y los procedimientos de unión correspondientes:

Cuerpos en forma de alambre: unión por tejido, torsión o anudado,
Chapas: unión por plegado y rebordeado,
Tubos: unión por laminado, abocardado y acanalado.

Las piezas auxiliares de unión pueden ser: remaches o roblones, remaches huecos y grapas. Las uniones por conformación están aseguradas en general contra el aflojado involuntario por cierre de forma.

Remachar es unir por recalcado de una pieza auxiliar de unión. En el remachado en frío se produce una unión de forma, en el remachado en caliente la unión es por cierre de fuerza.

FUNDAMENTOS

El remache ha perdido importancia y se sustituye, en la mayoría de los casos por la soldadura, o el pegado.

Los remaches se utilizan, por ejemplo, en aquellos lugares en que el calentamiento pudiera provocar cambios de textura. Se utilizan con frecuencia remaches especiales para uniones especiales.

Los **remaches o roblones en bruto** están formados por el vástago y la cabeza. La longitud del remache se mide sin contar la cabeza en los de cabeza semiesférica; en los remaches de cabeza avellanada, la longitud incluye la cabeza.

Un remache ha de tener la longitud suficiente para incluir la longitud de fijación y un suplemento para formar la cabeza de cierre. La demasía de longitud se encuentra en la tabla. Como fórmula práctica para los remaches de cabeza semiesférica puede valer:

Suplemento = (1 a 2,5) · d_1
(aumentando con la longitud del remache y con el diámetro del remache en bruto)

Un remache de cabeza avellanada necesita de 1 a 2 mm menos.

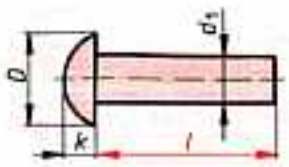


Figura 3-538. Remache de cabeza semiesférica.

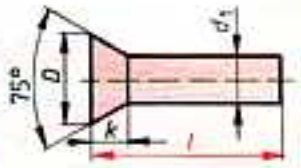


Figura 3-539. Remache de cabeza avellanada.

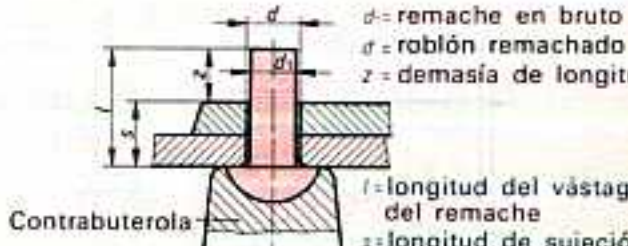


Figura 3-540. Dimensiones del remache.

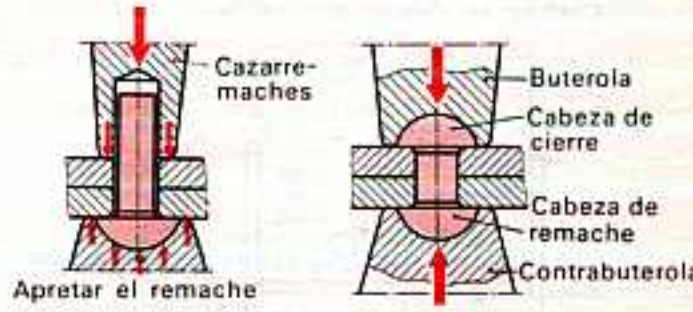


Figura 3-541. Operaciones del remachado.

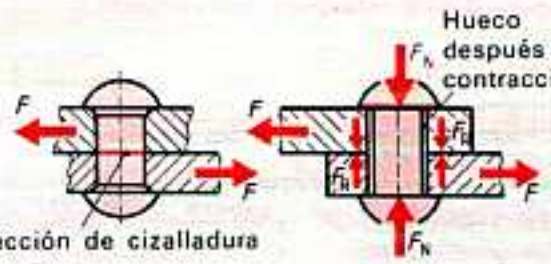


Figura 3-542. Solicitación a esfuerzo cortante en el remachado en frío.

Figura 3-543. Solicitación a compresión en el remachad en caliente.

FABRICACIÓN DE UNIONES REMACHADAS

Se necesitan el sacarremaches, la contrabuterola y la buterola. Para acelerar el trabajo se utilizan martillos de aire comprimido y eléctricos.

Las piezas que se han de unir han de asentar planas unas sobre otras. Se deben taladrar conjuntamente. Los bordes de los taladros se han de dejar planos. El taladro para remaches (d) ha de practicarse de modo que el remache pueda penetrar en él sin presión.

Los remaches de acero de pequeño diámetro, hasta 8 mm, suelen remacharse en frío. En el remachado en caliente el extremo del vástago se calienta al rojo blanco y la cabeza al rojo.

El remache o roblón introducido en el taladro se hace pasar por acción del sacarremache. Luego se recalca el vástago con el martillo y se forma la cabeza de cierre con la buterola. En caso necesario se refundirán las dos cabezas.

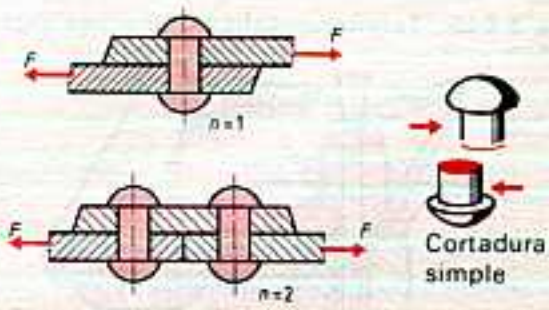


Figura 3-544. Remachado simple (un solo esfuerzo de cortadura) con remaches en hilera.

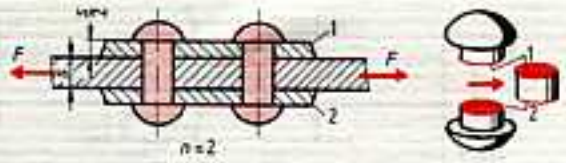
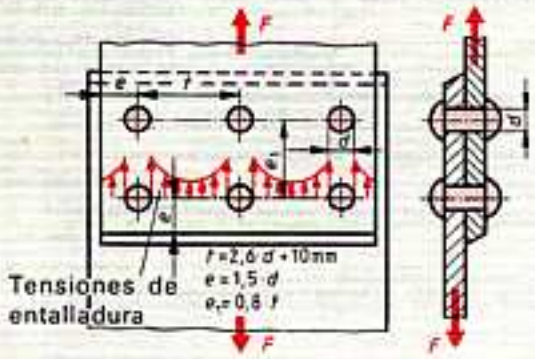
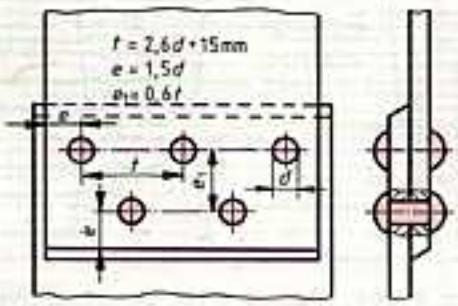


Figura 3-545. Remachado doble (dos esfuerzos de cortadura) con remaches en hilera.



Costura en cadena (dos hileras)



Costura en zig-zag (al tresbolillo)

Figura 3-546. Uniones con remaches.



Figura 3-547. Remache hueco.



Figura 3-548. Remache con cabeza de hongo para chapas finas.

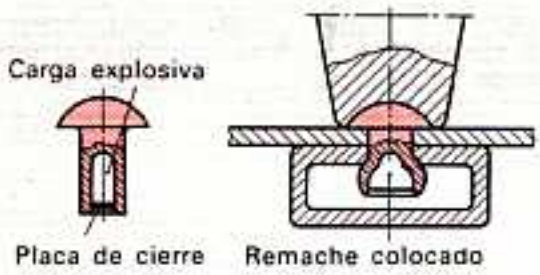


Figura 3-549. Termorremaches (remaches explosivos).

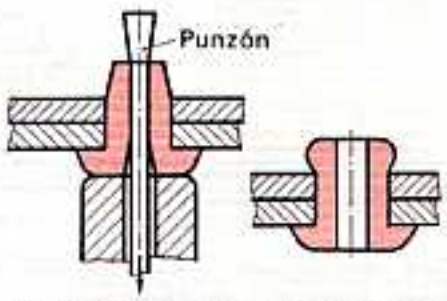


Figura 3-550. Remache ciego para chapas delgadas (remache con punzón).

SOLICITACIONES DE LAS UNIONES REMACHADAS

En el **remachado en frío**, el remache llena el agujero. Las fuerzas que producen la compresión de las chapas son relativamente pequeñas. Las fuerzas de tracción que reciben las chapas se transmiten por medio del vástago del remache que, al mismo tiempo, está solicitado a **esfuerzo cortante** (unión de forma).

$$\tau = \frac{F}{S \cdot m \cdot n}$$

τ = tensión de cortadura en N/mm²
S = sección del remache recalcado en mm²
m = número de secciones portantes del remache,
n = número total de remaches

Los remaches en caliente se contraen al enfriarse en las direcciones longitudinal y transversal. Se produce una fuerza de apriete que comprime las dos chapas de modo que no pueden deslizarse al ser solicitadas (unión con cierre de fuerza).

MATERIALES PARA LOS REMACHES

Los materiales para los remaches son aceros no aleados con poco contenido de carbono (DIN 17111). Ejemplo: USt 36-2 con 0,14% de carbono, 260 N/mm² a 360 N/mm² de resistencia al cizallamiento. Se utilizan también el cobre, aleaciones de cobre y zinc, aluminio y plásticos. Para que no se produzcan corrosiones, el remache y la pieza han de ser del mismo material básico.

TIPOS DE UNIONES REMACHADAS

Las **uniones remachadas** se distinguen por la forma en que las piezas se unen entre sí. Con el **solape**, las chapas o placas se colocan unas sobre otras. En el **remachado con cubrejuntas** se colocan las piezas a tope y se unen por medio de una o dos bridas o cubrejuntas.

Costura de remaches y distancia entre remaches. Cuando hay que transmitir fuerzas considerables, se colocan varios remaches. Las costuras remachadas pueden tener una o varias hileras de remaches y pueden realizarse como costuras en filas correspondientes o alternadas.

Los agujeros disminuyen la sección de la chapa y debilitan por el efecto de entalladura. En la sección transversal de la pieza, las tensiones de tracción no se reparten uniformemente, sino que se producen picos de tensión junto a las paredes de los agujeros. Por esta pérdida de resistencia, los agujeros para los remaches deben guardar una distancia mínima entre sí y al borde de la pieza.

Distancia al canto. Si en las estructuras de acero hay que unir perfiles por medio de, por ejemplo, cartelas de nudos, los remaches han de distar del canto lo suficiente para que se puedan remachar las cabezas.

REMACHES ESPECIALES

La zona del remache es accesible **por ambos lados.**

Los **remaches huecos** son casquillos con un borde plano en uno de sus extremos. Una vez introducido en el agujero del remache, el otro extremo se abate con una herramienta. Se utilizan para chapas delgadas, cartón, cuero.

Los **remaches con cabeza de hongo** sirven para unir chapas delgadas; se colocan de modo que la cabeza asiente sobre un apoyo liso y se remachan por el otro lado.

Los procedimientos siguientes se aplican cuando la zona del remache sólo es accesible por un lado.

Los **termorremaches** llevan un espacio hueco en el extremo del vástago. En este hueco se encuentra una carga explosiva. Al calentarlos (120°C a 130°C) explota la carga y por expansión forma la cabeza de cierre en el extremo inaccesible.

Los **remaches ciegos** son remaches huecos en cuyo interior va una espiga, cuyo extremo es cónico o esférico. Cuando el extremo de la espiga pasa a través del remache, éste se ensancha e incluso, según la fuerza aplicada, se separa la cabeza de la espiga.

Los **remaches de expansión** están ranurados por un extremo. Al introducir a golpes un vástago entallado el extremo del vástago del remache se extiende.



Figura 3-551. Defectos en el remachado.

DEFECTOS EN EL REMACHADO

Los defectos reducen la resistencia del remachado y del remache. Los agujeros no alineados y las cabezas desplazadas modifican la uniformidad de la fibra en el remache, reducen la fuerza de sujeción. Lo mismo ocurre con las cabezas de cierre demasiado pequeñas. Un agujero excesivamente grande o un remache excesivamente delgado reduce la resistencia. Los remaches introducidos con demasiada fuerza o mal apretados reducen la resistencia y la estanquidad.

Los remaches de acero de más de 8 mm de diámetro y las costuras que deban ser resistentes y estancas, tienen que remacharse en caliente.

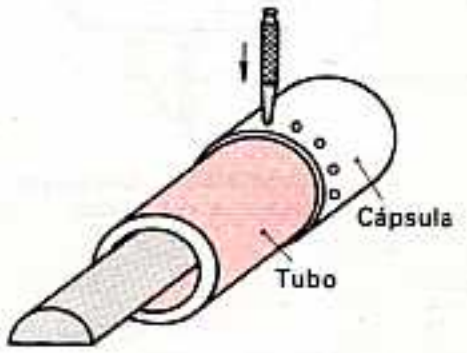


Figura 3-552. Unión por graneteado.

3.10.2 Uniones de chapas

Para unir chapas, además del remachado y la soldadura, hay una serie de procedimientos especiales.

Unión por graneteado. El extremo de una pieza se introduce en otra. Las piezas, en su zona de unión, se presionan por puntos. Para ello se utiliza el granete.

Unión por abocardado. Una pieza hueca se ensancha por medio de otra pieza encajada en su interior, de modo que queda unida con cierre de fuerza o de forma a la pieza exterior. El abocardado se efectúa por medio de herramientas o por la acción de medios activos, por ejemplo, un fluido a presión.

Unión por acanaladura. A la acanaladura en una chapa se la puede denominar nervio. La fabricación de una acanaladura suele hacerse con una máquina acanaladora que consiste en dos cilindros perfilados que giran en sentidos contrarios; a través de ellos se hace pasar la chapa que así queda conformada. Para unir piezas se introduce por encima de la pieza con acanaladura la contrapieza de paredes delgadas y se le imprime una acanaladura coincidente con la de la otra. La acanaladura se puede practicar también conjuntamente en dos piezas de chapas delgadas.

Unión por bordón. Se entiende por bordón un reborde conformado, generalmente en el extremo de un tubo o en un fondo. Para bordonar, el borde de la chapa se estira o se recalca. La unión se realiza uniendo con cierre de forma una pieza tubular con la otra pieza, por medio del bordón. Para dar rigidez a los bordes de la chapa puede insertarse un alambre en el bordón.

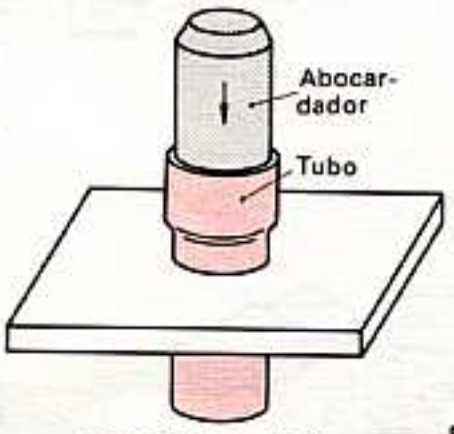


Figura 3-553. Unión por abocardado.

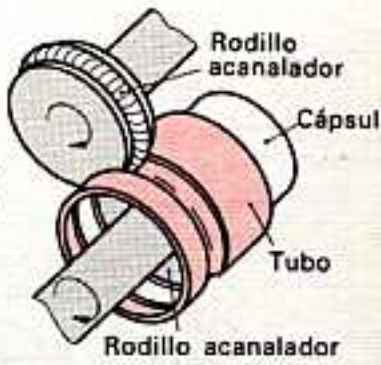


Figura 3-554. Unión por acanaladura.

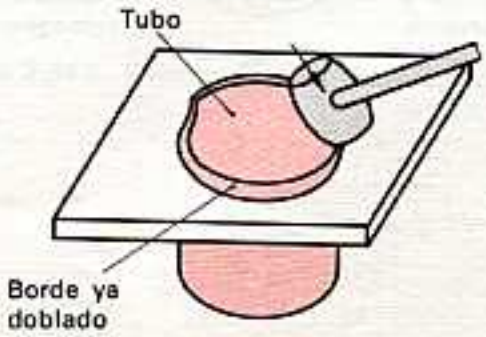


Figura 3-555. Unión por bordón.

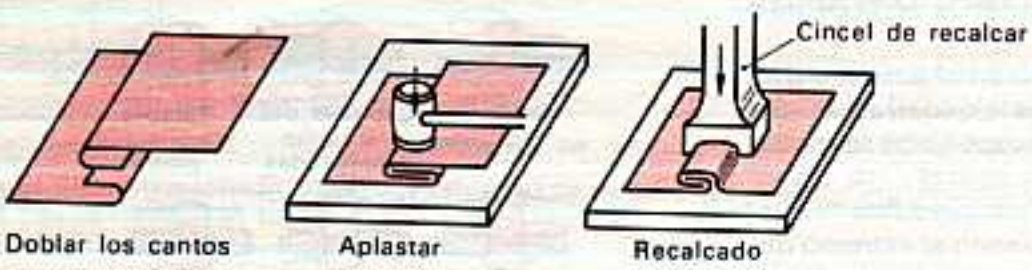


Figura 3-556. Unión por engatillado (plegado).

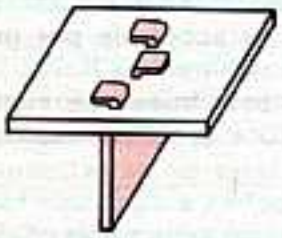


Figura 3-557. Unión por lóbulos doblados.

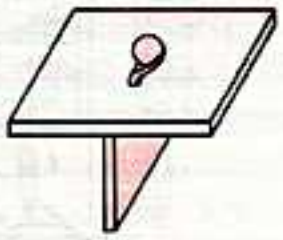


Figura 3-558. Unión por lóbulos retorcidos.

Unión por engatillado. Se utiliza el engatillado para unir chapas delgadas cuyos bordes pueden doblarse bien y que sean poco apropiadas para soldar. El engatillado se realiza en varias operaciones sucesivas. En primer lugar, se doblan los bordes de las piezas, se encajan uno en otro y luego se aplastan conjuntamente. Para que las chapas no se desenganchen, el pliegue suele recalcarse.

Unión por ensamble. La unión se hace introduciendo una pieza plana o varios lóbulos u orejetas de una pieza en unas ranuras de la otra pieza y luego se doblan, se retuercen o recalcan.

3.11 Unión con pegamentos (adhesivos)

3.11.1 Uniones pegadas

Se entiende por adhesivos los pegamentos, las colas y las masillas.

Pegar es unir materiales iguales o distintos con la ayuda de un pegamento susceptible de endurecimiento.

APLICACIÓN DEL PEGADO

El pegado de metales completa o sustituye al remachado, la soldadura o el plegado. En la actualidad se pegan las superficies exteriores de aviones, puentes, estructuras de tejados y de ventanas, piezas de automóviles, etc. Otros ejemplos son el pegado de tubos, de zapatas de freno y de plaquitas de corte en herramientas.

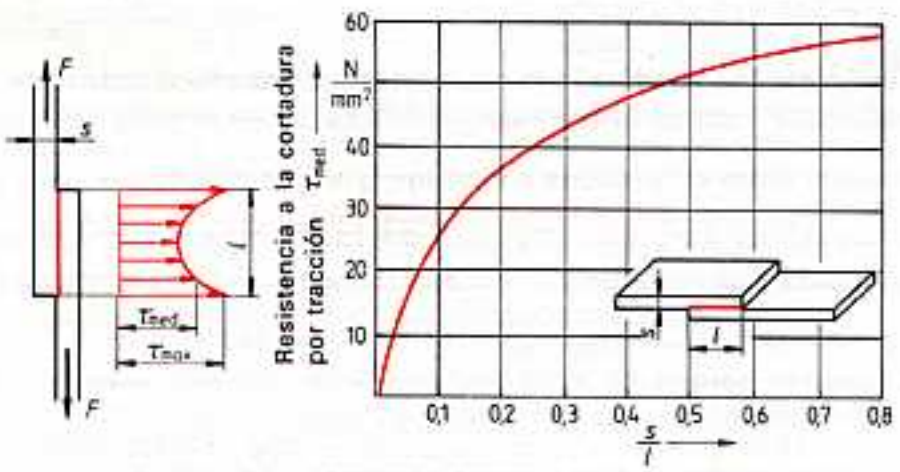


Figura 3-559. Distribución de las tensiones y resistencia media a la cortadura por tracción en la unión pegada de un solape.

Ventajas e inconvenientes del pegado

El pegado tiene ventajas especiales para la unión de materiales diferentes (aluminio sobre acero o acero sobre vidrio). Se consiguen así superficies lisas, uniones sin fisuras, igualdad de resistencia en toda la sección, efecto de aislamiento y ahorro de peso.

La distribución de tensiones es uniforme en toda la unión pegada sometida a carga por lo que se consigue una gran resistencia para las cargas permanentes. La unión pegada atenúa las oscilaciones y es estanca a los gases y al agua. A las temperaturas empleadas para el pegado no se producen en las piezas metálicas ni tensiones internas ni deformaciones.

Las uniones pegadas tienen el inconveniente de su sensibilidad a los golpes y a los choques y el de su escasa capacidad de deformación. Para conseguir la resistencia deseada, los pegamentos de dos componentes tienen que dosificarse en la proporción debida. Los períodos de goteo y de endurecimiento sólo permiten un empleo condicionado en la fabricación en serie.

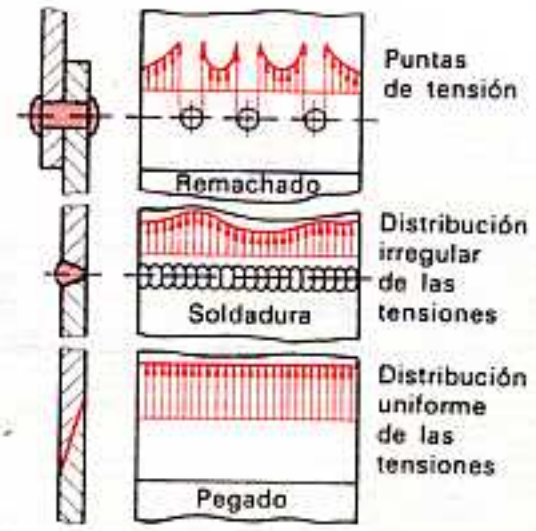


Figura 3-560. Distribución de tensiones.

FORMA DE ACTUACIÓN DEL PEGAMENTO

La acción del pegamento se debe a su cohesión y adherencia contra la pieza.

Experimento: Dos placas de vidrio se superponen y se vuelven a separar. Las superficies de apoyo se mojan ahora con agua. Las dos placas se adhieren ahora fuertemente y no se pueden separar más que por deslizamiento. Son capaces de resistir grandes esfuerzos de tracción pero no resisten más que esfuerzos tangenciales muy reducidos.

La adherencia puede aumentarse mediante diversos tratamientos superficiales. La cohesión garantiza que las partículas de masa del mismo material se mantengan unidas. La cohesión depende, entre otras cosas, de la temperatura y determina el estado de agregación de la materia. Una cohesión fuerte aumenta la resistencia interna; la cohesión débil debilita la textura del material. De esta manera, la cohesión es determinante tanto de la viscosidad del pegamento al aplicarlo como de la resistencia que tendrá después del endurecimiento.



Figura 3-561. Efecto de adherencia entre placas de vidrio.

SUPERFICIES Y ADHERENCIA

Las superficies que se han de pegar se deben limpiar cuidadosamente, es decir, han de quedar exentas de suciedad y de grasa para que las moléculas del pegamento puedan adherirse directamente al material.

La viscosidad del pegamento tiene que ser la adecuada para la rugosidad de la superficie, es decir, las irregularidades superficiales tienen que rellenarse de pegamento aplicando sobre ellas una capa lo más uniforme posible. Como el aplanamiento de la superficie es difícil de conseguir, la adherencia será tanto mayor cuanto menor sea la aspereza superficial.



Figura 3-562. Funcionamiento de la unión pegada.

TIPOS DE PEGAMENTOS

Los pegamentos son resinas sintéticas susceptibles de endurecimiento, como las fenólicas, las poliamídicas o las epoxídicas cuya dureza y viscosidad pueden modificarse por la adición de plastificantes.

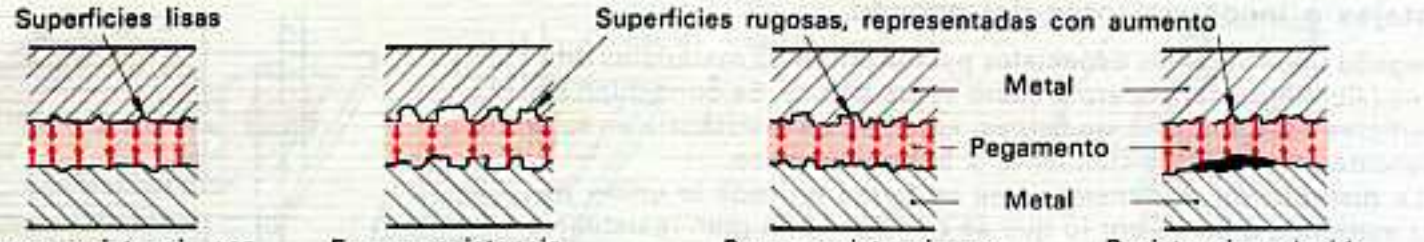


Figura 3-563. Efecto de adherencia del pegamento para metales.

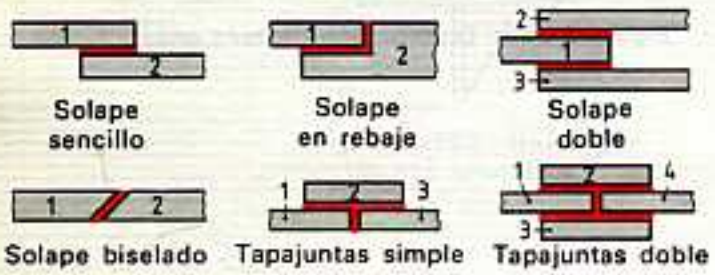


Figura 3-564. Forma de las uniones pegadas.

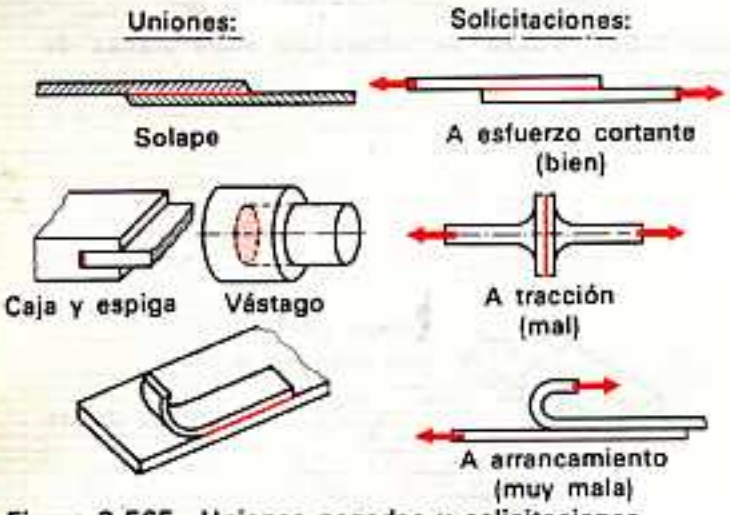


Figura 3-565. Uniones pegadas y solicitaciones.

1. Por la temperatura de aplicación hay que distinguir entre **pegamentos en frío** y **pegamentos en caliente.**

Los **pegamentos en frío** endurecen por reacción química a temperatura ambiente (20°C). El período de endurecimiento varía, según el pegamento, entre 5 segundos y varios días. Los **pegamentos en caliente** endurecen en un plazo de 5 minutos a varias horas calentándolos a 150°C hasta 250°C. Algunos pegamentos necesitan, para endurecer, una compresión que puede llegar a 300 N/mm².

2. Por su composición hay que distinguir entre **pegamentos de un solo componente** y **pegamentos de dos componentes.**

Los **pegamentos de un solo componente** son pegamentos químicamente completos que llevan un disolvente. El endurecimiento se produce al aire por evaporación del disolvente. Por esta razón, no deben unirse las superficies que se han de pegar hasta que la película de pegamento aplicada haya perdido su humedad.

Los **pegamentos de dos componentes** no actúan hasta que se mezclan sus dos componentes, pegamento y endurecedor. Como el proceso de endurecimiento se inicia rápidamente, la mezcla, una vez realizada, tiene que aplicarse dentro de un plazo de tiempo (período de goteo) determinado.

FORMA DE LAS UNIONES PEGADAS

Debe tenerse en cuenta la solicitación de la zona pegada. Deben evitarse las solicitaciones a tracción ya que la unión se carga desfavorablemente y la resistencia a tracción del pegamento no es muy elevada. Las solicitaciones tangenciales son muy desfavorables porque provocan tensiones de tracción en el pegamento. Conviene aplicar solicitaciones a esfuerzo cortante combinadas con fuerzas de tracción, compresión o torsión. La resistencia de la unión pegada depende también del tipo de pegamento, de las dimensiones de la superficie de solape y del espesor de la capa aplicada. La resistencia al calor es de 200°C para las resinas fenólicas y de 400°C para las resinas poliamídicas.

MODO DE HACER Y DESHACER UNA UNIÓN PEGADA

Las superficies de la zona que se ha de pegar tienen que tratarse previamente. Las impurezas deben eliminarse por desengrasado, lavado, frotado, etc., para que la adherencia pueda actuar. Sólo se consigue una superficie activa eliminando varias capas hasta llegar al «núcleo del material». Se logra esto por lijado, esmerilado, chorro de arena, etc Las instrucciones para el uso del pegamento indican el tratamiento de las superficies de adherencia. La superficie no debe quedar rugosa, sino que debe conseguirse una base de adherencia óptima.

La elección del pegamento tiene una importancia decisiva. En caso de duda se realiza una prueba de humectación, es decir, se aplica una gota de pegamento a la superficie de contacto y se observa su expansión. Cuanto más se extienda, mayor es la adherencia.

La unión pegada exige un asiento fijo de las piezas que se unen. Si las superficies son rugosas, el pegamento y el endurecedor se aplican a ambas caras, si las superficies son lisas sólo se aplican a una de ellas. El espesor de la capa de pegamento debe tener entre 25 y 100 μm. Las piezas que se pegan no deben moverse hasta el endurecimiento. Con muchos pegamentos basta una ligera compresión, en los pegamentos de contacto se necesita una compresión fuerte.

Para **deshacer** uniones pegadas se puede utilizar una acción mecánica para la rotura de la adherencia o de la cohesión, y también se puede conseguir por tracción y por exfoliación. Puede lograrse también por calentamiento (80°C a 250°C según el tipo de pegamento) con el cual los pegamentos termoplásticos se funden y los termoestables se descomponen.

3.12 Unión por soldadura blanda y fuerte

3.12.1 Fundamentos

La soldadura blanda y fuerte es un procedimiento térmico del tipo unión por el material para la unión de materiales metálicos con ayuda de un metal de aportación en estado líquido, cuya temperatura de fusión sea muy inferior a la de los metales que se unen, que los moja sin fundirlos.

PROCESO DE LA SOLDADURA BLANDA Y FUERTE

Hay que distinguir entre soldadura con metales de aportación cuya temperatura de fusión es inferior a los 450° (estaño), llamada soldadura blanda (o al estaño) y con metales cuya temperatura de fusión es superior a los 450° (cobre, latón) llamada soldadura fuerte (o amarilla).

El proceso se realiza en tres fases:

1. **Mojado:** Una vez caldeado el material a la temperatura de trabajo, el metal auxiliar fundido comienza a mojar la superficie de la pieza. Se llega a una íntima unión entre el metal de aportación fluido y el material base sólido por lo que se forma una capa de aleación de espesor igual al diámetro de algunos cristales.

2. **Fluencia:** Al formarse la aleación se libera calor que sirve para suministrar energía para que el metal de aportación se extienda por el espacio estrecho entre las piezas. En ello, el metal fluido está sometido a un efecto de capilaridad (efecto de succión).

Experimento: Si se sumerge en agua un tubo de vidrio de escaso calibre, se observa que el líquido asciende por el tubo más arriba de la superficie del líquido. Lo mismo ocurre si se absorben los líquidos en las esponjas u otros materiales porosos.

Conclusión: Las moléculas del líquido se adhieren a las paredes que las rodean. Esta fuerza de adherencia es mayor que la cohesión en el interior del líquido. Las moléculas son atraídas hacia arriba junto a las paredes. Cuanto menor sea la distancia entre las paredes más arriba asciende el líquido.

El hueco entre las piezas de unión ha de ser lo más estrecho posible (de 0,05 mm a 0,2 mm). Si es demasiado grande, se dificulta la penetración y fluencia del metal de aportación.

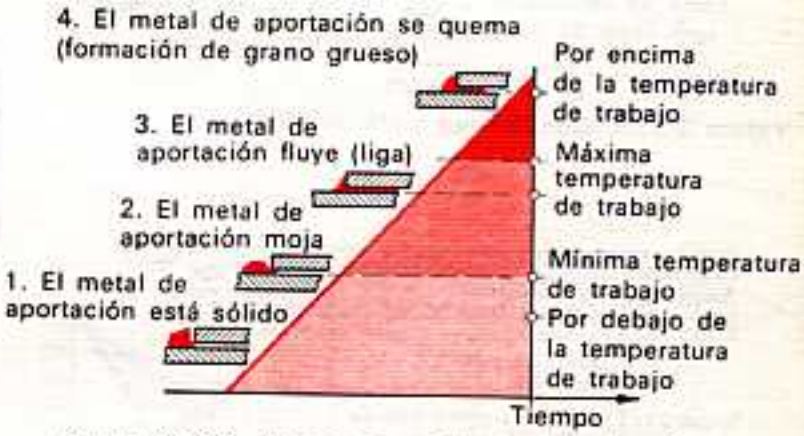


Figura 3-566. Proceso de soldadura blanda y fuerte, y temperaturas de trabajo.

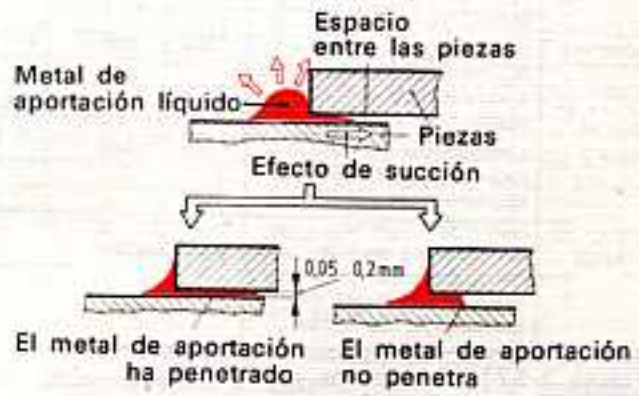


Figura 3-567. Influencia del espacio entre las piezas — Soldadura de hendidura.

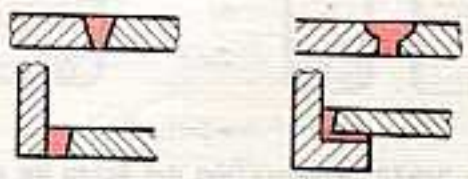


Figura 3-568. Soldadura de ranura.

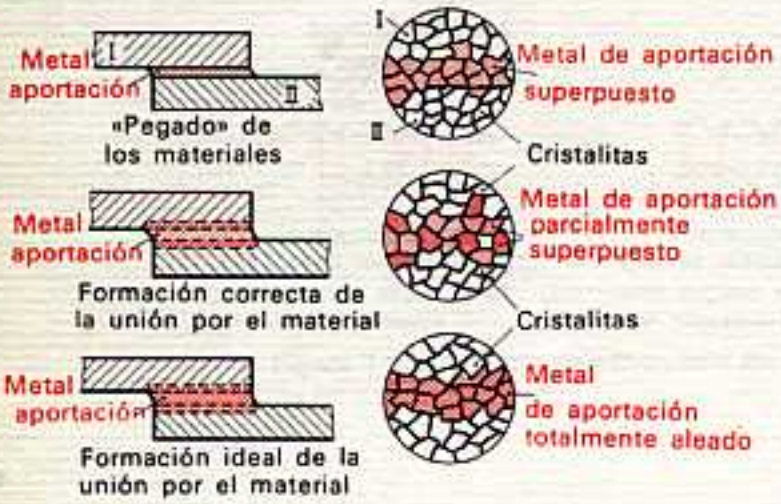


Figura 3-569. Soldadura correcta e incorrecta.



Figura 3-570. Condiciones para una buena soldadura.

Denominación	Composición química y propiedades	Temperatura de actividad en C
F-SW 11	Cloruro amónico y zinc (ácido para soldar); corrosivo	140... 450
F-SW 21	Cloruro de zinc - cloruro amónico (pasta para soldar); corrosiva condicionalmente	200... 400
F-SW 31	Resinas sin aditivo (colofonia); no corrosiva	200... 400
F-SH 1	Compuestos de boro y fluoruros (para metales de aportación de aleación con plata)	550... 800
F-SH 2	Compuestos de boro (bórax) (para metales de aportación de aleación con cobre y zinc)	750...1100
F-SH 3	Compuestos de boro, silicatos, fosfatos (para metales de aportación de alta temperatura de fusión)	1000...1300

Figura 3-571. Fundentes.



Figura 3-572. Preparación del ácido de soldar.

Mientras que en la **soldadura de hendidura** el estrecho espacio entre las piezas se llena de metal en estado líquido preferentemente por efecto de capilaridad, en la **soldadura de ranura** el espacio, más ancho, se llena gracias a la fuerza de la gravedad.

3. **Aglomeración:** El metal de aportación en estado líquido penetra a lo largo de los límites de los granos del material base con lo que ambos materiales se difunden el uno en el otro, es decir, el metal de aportación y el material base se penetran mutuamente. Esta forma de aleación, en la que uno de los metales se conserva sólido, se denomina difusión, que significa la migración de átomos aislados hacia la capa de mezcla.

La resistencia de la capa de difusión es mayor que la del metal de aportación. De esta manera, las uniones en que el espesor del metal de aportación puro es escaso tienen mayor resistencia.

CONDICIONES PARA UNA BUENA SOLDADURA BLANDA Y FUERTE

1. Las superficies de los metales que se han de unir han de estar libres de impurezas. En particular, las grasas y los óxidos impiden el contacto del metal de aportación con las superficies metálicas.
2. El calentamiento favorece la formación de óxidos. Los fundentes tienen que disolver los óxidos metálicos formados e impedir la formación de otros nuevos durante el calentamiento.
3. Las piezas y el metal de aportación han de tener la temperatura de trabajo necesaria en la zona de unión. Esta temperatura es la mínima temperatura superficial de la pieza en la zona de unión, a la cual el metal de aportación la moja, se extiende y puede difundirse en el metal base. La soldadura blanda y fuerte se realiza a temperatura superior a la de trabajo (temperatura de soldar). La temperatura de soldar se aplica solamente, en muchos casos, a las capas exteriores del metal de aportación de modo que éste se calienta en la zona de fusión entre las temperaturas del líquido y del sólido.

3.12.2 Materiales para soldadura blanda y fuerte

La temperatura de trabajo depende de la composición de la aleación del metal de aportación.

4. La temperatura activa del fundente y el intervalo de fusión del metal de aportación tienen que estar en concordancia.

FUNDENTES

Los fundentes son materiales no metálicos que eliminan los óxidos existentes en la superficie de unión e impiden que sigan formándose.

Muchos metales están recubiertos por una capa de óxido que impide que los moje el metal de aportación. Aunque esta capa se disuelva, vuelve a formarse, especialmente por la aplicación de calor. Los fundentes, los gases protectores o el vacío pueden disolver e impedir la formación de capas de óxido.

Elección del fundente

De acuerdo con los criterios siguientes:

1. Temperatura de trabajo del metal de aportación.
2. Procedimiento de soldadura.
3. Materiales que se han de unir.

Los fundentes tienen que actuar desde por debajo de la temperatura de trabajo hasta por encima de la temperatura de soldar. Se aplican a las zonas de unión en forma líquida o en pasta para que puedan actuar inmediatamente con el calentamiento. Los restos de fundente tienen que eliminarse después de la soldadura porque pueden producir corrosiones.

Fundentes según DIN 8511

Los fundentes (F) se diferencian por su utilización según sean para metales pesados (S), metales ligeros (L), soldadura blanda (W), soldadura fuerte (H).

Los fundentes para soldadura blanda se dividen en corrosivos (11), corrosivos condicionalmente (21) y no corrosivos (31).

En los fundentes para soldadura fuerte se indica la temperatura de acción, por ejemplo:

1 = 550°C a 800°C, 2 = 750°C a 1 100°C

METALES DE APORTACIÓN PARA SOLDADURA BLANDA Y FUERTE

Los metales para soldadura blanda y fuerte son metales o aleaciones apropiados para este procedimiento de unión.

Los metales se suministran en forma de bloques, barras, hilos, alambres, varillas, cintas, láminas, piezas conformadas, polvos, pastas.

Metales de aportación para soldadura blanda

Para la soldadura blanda de metales pesados y ligeros se utilizan aleaciones de los metales siguientes: estaño (Sn), plomo (Pb), antimonio (Sb), cobre (Cu), plata (Ag), cadmio (Cd) y zinc (Zn). Están normalizados en DIN 1707 y su temperatura de fusión es inferior a 450°C. Los procedimientos de trabajo para soldadura blanda son: soldadura con soplete (a llama) (WL-FL), baño de soldadura (WL-LO), soldadura con soldador (WL-KO) y soldadura de inducción (WL-IL).

Fabricación de fundentes

Los fundentes para la soldadura blanda son el ácido de soldar y las pastas de soldar. El ácido de soldar se utiliza para la soldadura de estaño, cobre, aleaciones de cobre y acero. Se prepara en el mismo taller con ácido clorhídrico diluido al que se añade zinc. En la reacción se desprende hidrógeno (¡precaución!). El ácido de soldar es la disolución acuosa del cloruro de zinc. En la zona de soldadura, una vez caliente, se produce con dicho líquido la reacción siguiente: Se forma ácido clorhídrico: $ZnCl_2 + H_2O \rightarrow ZnO + 2\ HCl$ que, por ejemplo, en el cobre elimina la capa de óxido formándose cloruro cúprico: $2\ HCl + CuO \rightarrow CuCl_2 + H_2O$.

El cloruro cúprico es expulsado por el metal de aportación en estado líquido.

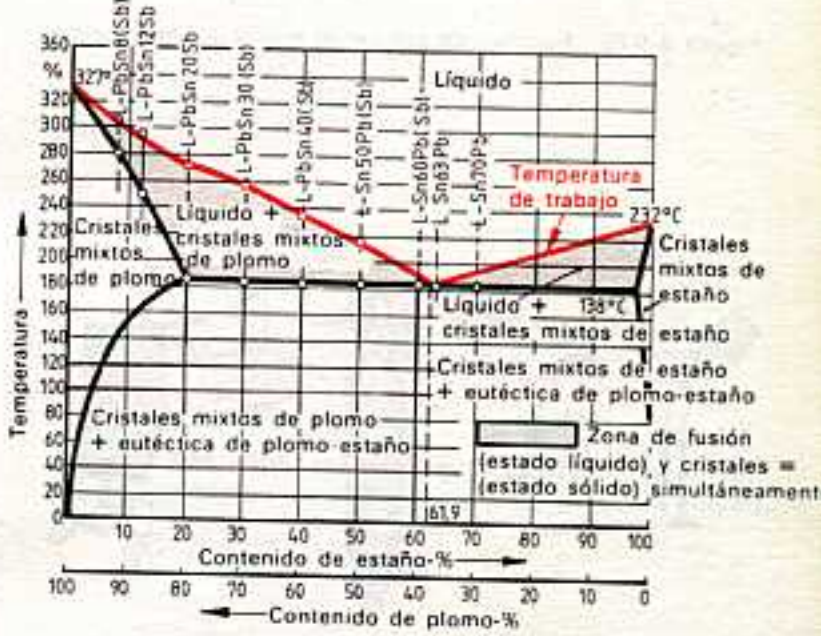


Figura 3-573. Diagrama de estado de metales de aportación plomo-estaño y estaño-plomo para soldadura blanda.

3.12.3 Procedimientos de soldadura

Ejemplos de la Norma DIN 1707

Grupo A: Metales de aportación de aleación plomo-estaño para soldadura blanda. Se utiliza para para trabajos de fontanería (lampista) y hoja-

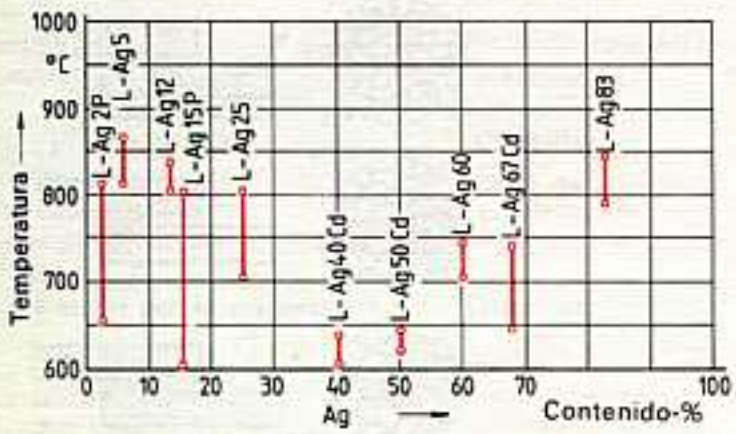


Figura 3-574. Intervalos de fusión de metales de aportación de soldadura fuerte con contenido de plata.

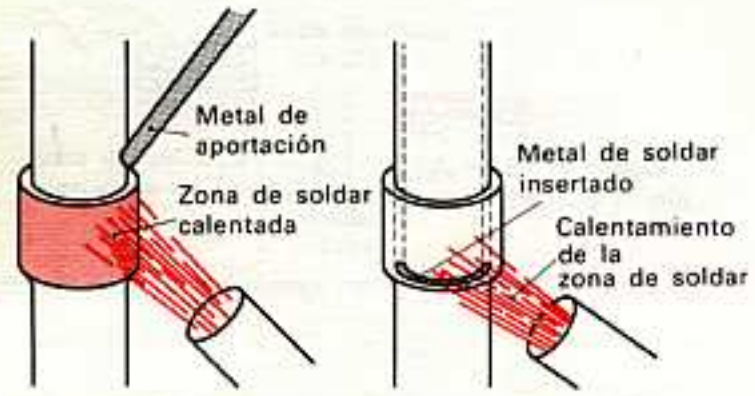


Figura 3-575. Formas de aplicar el metal de aportación.

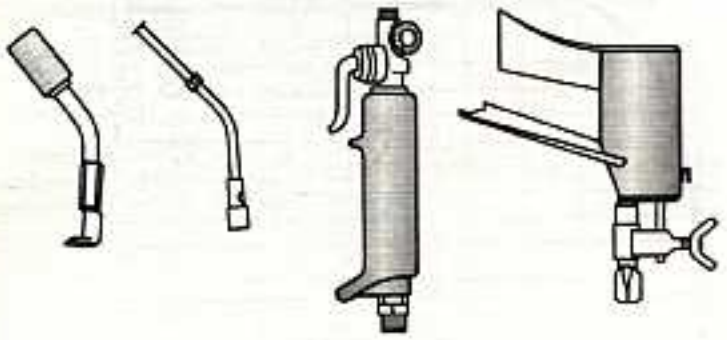


Figura 3-576. Equipo de soldar.

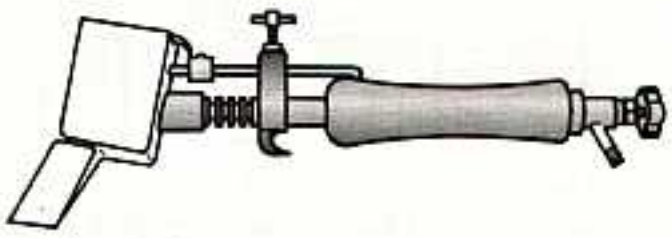


Figura 3-577. Soldador de propano.

latería. Ejemplo de designación: L-PbSn 20 Sb (metal de aportación con un 20% de contenido de estaño).

Grupo B: Metales de aportación de aleación estaño-plomo para soldadura blanda. Se utiliza en trabajos de electricista. Ejemplo de designación: L-Sn 60 PbCu (metal de aportación con un 60% de contenido de estaño).

Grupo C: Metales de aportación para soldadura blanda especiales. Aplicaciones para mecánica de precisión, técnicas del frío y termotécnica. Ejemplo de designación: L-SnAg 5 (3 a 5% de plata).

Grupo D: Metales de aportación para la soldadura blanda de materiales alumínicos. Ejemplo de designación: L-CdZn 20.

Metales de aportación para soldadura fuerte

Los **metales de aportación para soldadura fuerte (amarilla)** son aleaciones de los metales siguientes: cobre (Cu), estaño (Sn), plata (Ag), zinc (Zn), cadmio (Cd) y fósforo (P). Su intervalo de fusión comienza (sólido) entre 550 y 960°C y termina (líquido) entre 600 y 970°C. La temperatura de trabajo se encuentra o en la línea de líquido o unos 10 K por debajo de ella.

Ejemplos de las Normas DIN 8513 T 1 a T 3

T 1 Metales de aportación de aleación con cobre. Preferida para el acero y el níquel. Las temperaturas de trabajo están comprendidas entre 710 y 1 100°C. Ejemplo de designación: L-CuZn 46.

T 2 Metales de aportación de aleación con plata con menos del 20% de plata en masa. Preferida para materiales sensibles al calor. La temperatura de trabajo está comprendida entre 710 y 860°C. Ejemplo de designación: L-Ag 12.

T 3 Metales de aportación de aleación con plata con un 20% de plata en la masa como mínimo. Contienen Ag, Cd, Cu, Zn, Sn, Mn, Ni y se prefieren para soldar plaquitas de metal duro. Las temperaturas de trabajo están comprendidas entre 610 y 960°C. Ejemplo de designación: L-Ag 83.

SUBDIVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

La clasificación de los procedimientos de soldadura según la norma DIN 8505 son:

1. Por la temperatura de líquido del metal de aportación: soldadura blanda (hasta 450°C), soldadura fuerte (más de 450°C), soldadura a alta temperatura (más de 900°C).
2. Por el tipo de la zona de unión:
   Soldadura de aplicación (recubrimiento), soldadura de hendidura (espacio estrecho), soldadura de ranura (espacio ancho).
3. Por el portador de energía.
4. Por el tipo de eliminación de óxidos:
   con ayuda de fundentes, en atmósfera de gas reductor, en atmósfera de gas inerte, al vacío.
5. Por la forma de añadir el metal de aportación:
   con material aplicado, con material insertado, con depósito de material, en baño de soldar.
6. Por la forma de ejecución:
   soldadura manual, soldadura mecanizada, soldadura automatizada.

En los talleres suele soldarse con aplicación manual del metal de aportación eliminando la capa de óxido con un fundente. El calentamiento, en soldaduras pequeñas, se hace con soldador eléctrico, en las soldaduras largas se hace con llama de gas. En las instalaciones de tuberías se utiliza casi exclusivamente la soldadura de hendidura. Industrialmente se utiliza, a ser posible, el material de aportación insertado (cuadros de bicicleta).

TRABAJOS DE SOLDADURA BLANDA Y FUERTE

Programa de trabajo en una soldadura blanda con soldador

Las piezas que se han de unir se adaptan una a otra, se limpian y se mojan con el fundente.

El soldador eléctrico se calienta hasta una temperatura encima de la temperatura de trabajo y se limpia con una piedra de cloruro amónico para quitarle la capa de óxido. Con el soldador se funde un poco del metal de aportación y se aplica a la zona de unión. Se distribuye éste (estaño) a lo largo de la costura de unión. A continuación se limpia del fundente de la zona de unión y se pasa un trapo húmedo. Como sólo se consigue una buena resistencia si la distancia entre las piezas de unión es estrecha, durante la operación de soldadura las piezas se comprimen con unas tenazas, con una entenalla o con el soldador.

Programa de trabajo en una soldadura a la llama con material de aportación

Depende de que se haya previsto una soldadura de hendidura (capilar) o de ranura. Es importante la preparación de la costura. Las juntas de soldadura han de tener siempre forma de V para que el metal pueda llegar hasta la raíz. En la soldadura de hendidura es importante la colocación de las piezas a la medida justa (distancia de 0,02 a 0,5 mm). El metal de aportación tiene que rellenar el espacio entre las piezas. Esto ocurre por efecto de capilaridad con lo que el material de aportación asciende, en contra de la gravedad, tanto más arriba cuanto menor es la distancia entre las piezas. Con una distancia $b = 0{,}2$ mm el metal de aportación asciende unos 7 mm.

Ante todo hay que eliminar la capa de impurezas de la zona de unión con tela de esmeril o con lana de acero. La aplicación del fundente se efectúa con brocha en las soldaduras grandes; en las pequeñas se aplica junto con el metal de aportación. La zona de unión ha de calentarse lo más uniformemente posible. Cuando se haya alcanzado la temperatura de trabajo, se funde el metal de aportación junto a la pieza. Es importante que el metal de aportación no se mantenga bajo la llama para fundirlo, sino que se funda por el calor de la pieza. Cuando el metal de aportación comienza a fundirse se retira la llama.

Después de la operación se deja enfriar la pieza al aire. En la soldadura fuerte, si el material base lo permite, a los 400°C se puede enfriar en agua. Los restos de fundente se disuelven en el agua caliente o se eliminan con un cepillo.

Otros procedimientos de soldadura

En la **soldadura por inducción**, el calentamiento del metal aportado se efectúa con ayuda de una bobina de inducción. Ejemplo: soldadura de plaquitas de metal duro en los mangos de las cuchillas de torno.

En la **soldadura por inmersión**, las piezas que se han de unir se calientan en un baño de metal de aportación fundido a la temperatura de soldar; sólo es posible para soldadura blanda. Ejemplo: placas de conexiones para electrónica.

Al **horno** se ejecutan soldaduras blandas y fuertes. En general se unen varias piezas. El metal de aportación se introduce en las juntas de unión, las piezas se unen, se mantienen juntas y se llevan al horno a la temperatura de soldar. Se puede efectuar la soldadura con fundente, con gas protector o al vacío. Ejemplo: soldadura de los cuadros de bicicleta.



La llama, con exceso de acetileno, debe llevarse de modo que caliente más el mango de la herramienta que la plaquita del metal duro

Figura 3-578. Soldadura fuerte con llama.

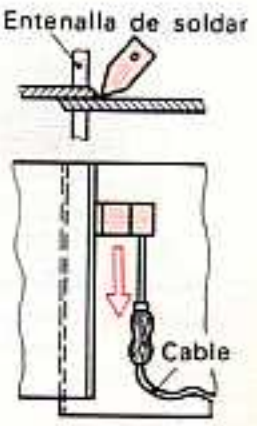


Figura 3-579. Soldadura blanda con soldador.

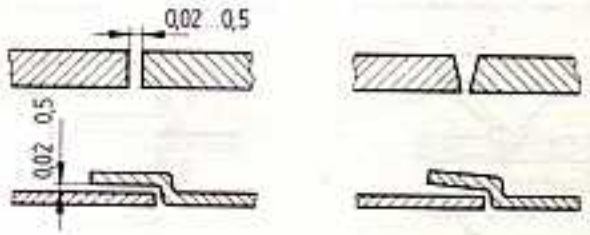


Figura 3-580. Hendidura de soldar y ranura de soldar.

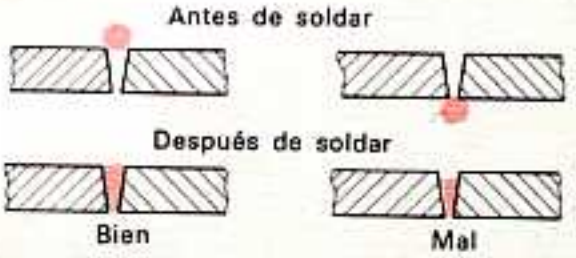


Figura 3-581. Aplicación correcta y defectuosa del metal de aportación en una junta en V (ranura de soldar).

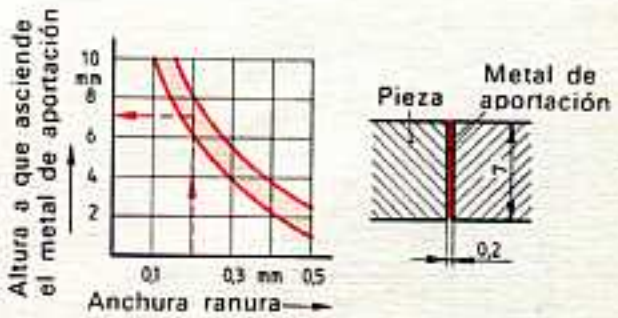


Figura 3-582. Relación entre la anchura de la ranura y la altura de ascenso del metal de aportación.



Figura 3-583. Unión por soldadura defectuosa.

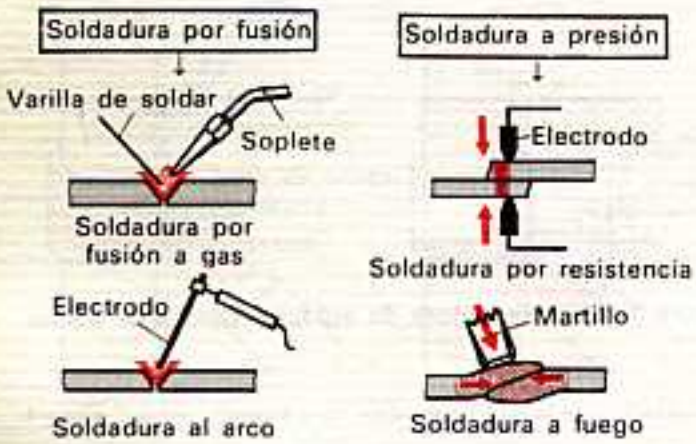


Figura 3-584. Métodos importantes de soldadura.

Figura 3-585. Procedimientos de soldadura.

En la **soldadura de bloques**, las piezas que se han de unir se proveen de un anillo de metal de aportación para soldadura blanda con fundente y se colocan sobre un bloque metálico caliente. Ejemplo: objetos de adorno, piezas de electrónica.

La costura de unión debe limpiarse antes de soldar, las piezas deben acoplarse bien, la temperatura de soldar debe elegirse de modo que no sea muy superior a la de fusión del metal de aportación.

Después de soldar, eliminar los restos de fundente. Deben mantenerse cerradas las botellas de ácido para soldar y las de ácido clorhídrico (formación de óxidos).

3.13 Unión por soldadura

3.13.1 Fundamentos

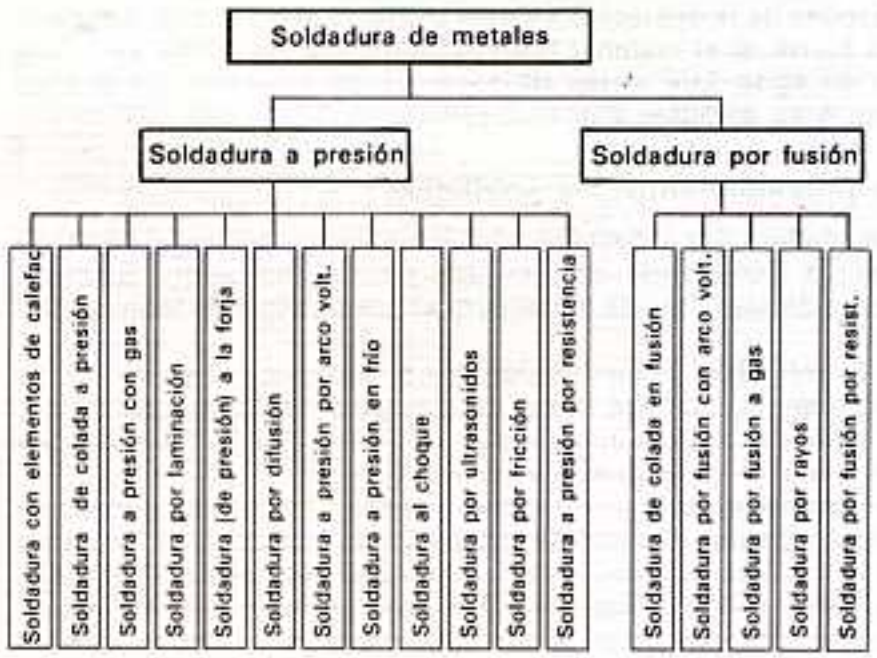
Soldar es unir los materiales, en la zona de soldadura, utilizando calor o fuerza, o ambos a la vez, con un aditivo de soldadura (material de aportación) o sin él.

SUBDIVISIÓN DE LOS MÉTODOS DE SOLDADURA

La soldadura tiene muchas aplicaciones; por esta razón se han desarrollado muchos procedimientos. Se han definido en las Normas DIN 1910 T1 a T10.

Los procedimientos de soldadura se subdividen según los siguientes conceptos:

1. Tipo de material básico:
   soldadura de metales, de plásticos, de otros materiales.
2. Finalidad de la soldadura:
   soldaduras de unión (ejemplo: unión de piezas), soldaduras de relleno (ejemplo: rellenar un carril desgastado).



3. Tipo de soldadura:
   soldadura a presión (soldadura con aplicación de una fuerza), soldadura por fusión (soldar fundiendo los materiales en una zona delimitada).
4. Forma de hacer la soldadura:
   soldadura a mano, soldadura mecánica, soldadura automatizada.

En los trabajos de taller no se emplean más que unos pocos de los procedimientos posibles.

En la **soldadura a presión** tienen importancia:

— la **soldadura por laminación** de tubos, en la que las superficies de contacto se calientan y se efectúa la soldadura sin material de aportación,
— la **soldadura a la forja** en la que las piezas, previamente calentadas, generalmente en la fragua, se forjan sobre el yunque para soldarlas, con lo que se producen considerables deformaciones,
— la **soldadura a presión por resistencia.**

En la **soldadura por fusión**, el procedimiento más comúnmente utilizado es

— la **soldadura por fusión a gas** y la **soldadura por fusión al arco.**

TRANSFORMACIÓN DEL MATERIAL

Para la práctica, es decisivo saber qué propiedades tiene el cordón de soldadura después del enfriamiento, ya que el material, en la zona de soldadura, está sometido a diferencias de temperatura superiores a los 2 000 K. Deben tenerse en cuenta la aparición de tensiones internas, las modificaciones de textura, las modificaciones de dureza y elasticidad, etc.

Tensiones. En la zona de soldadura el material se dilata y las zonas más frías que la rodean se oponen a esta dilatación, es decir, se producen tensiones.

Modificaciones de textura. Como consecuencia de las altas temperaturas de trabajo, el material soldado adquiere una textura austenítica de grano grueso (textura de fundición). En el entorno sobrecalentado del cordón de soldadura puede también llegarse a la formación de grano grueso y en las zonas calientes adyacentes se forma grano fino. Estos componentes de la textura van pasando gradualmente a la textura primitiva de laminación de la pieza. De esta manera aparecen zonas de textura con diferentes tamaños de grano y límites granulométricos. En las zonas de transición, el material es sensible a las solicitaciones. Si hay que mejorar las propiedades, después de soldar hay que someter el material a un recocido.

Sobre la **dureza y elasticidad** del cordón de soldadura influyen las separaciones o absorciones de carbono, nitrógeno y fósforo que puedan encontrarse en el acero o en los gases empleados en la soldadura. Los aceros adecuados para la soldadura son los aceros al carbono.

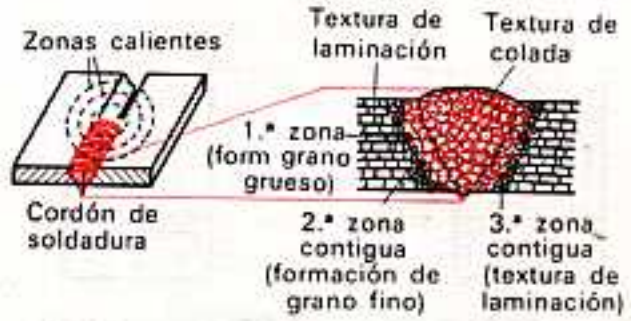


Figura 3-586. El cordón de soldadura y las zonas contiguas presentan modificaciones de textura.

Aceros que pueden soldarse muy bien (Selección)

Aceros de construcción: RSt 34-2, RSt 37-2, St 52-3
Aceros de cementación: C 15, 15 Cr 3
Aceros bonificados: sólo son soldables en ciertas condiciones
Chapa fina: St 12, St 14, RSt 37-2
Chapa para calderas: H I, H II
Acero para tubos: St 35, St 35.4, St 52.4
Tubos de caldera: St 35.8
Aceros resistentes al calor: sólo son soldables en ciertas condiciones
Aceros inoxidables: X 12 CrNi 18 8, X 5 CrNiMo 18 10.

3.13.2 Soldadura por fusión

Soldar por fusión significa soldar fundiendo el material en una zona delimitada, con adición de material de aportación o sin él.

SOLDADURA POR FUSIÓN A GAS (Soldadura a gas)

El baño de soldadura se produce por la acción de la llama de un gas combustible (generalmente acetileno) y oxígeno.

La temperatura de la llama alcanza los 3 200°C con la mezcla acetileno-oxígeno, 2 700°C con propano-oxígeno y 2 600°C con gas de la red-oxígeno.

Oxígeno

Para el transporte de los gases se aprovecha su compresibilidad.

El oxígeno gaseoso se suministra en botellas normalizadas de 40 litros (masa de la botella vacía 70 a 75 kg) con una sobrepresión (llena) de 150 bar, y en botellas de acero ligero de 50 litros (masa 66 kg) con una sobrepresión de 200 bar.

La sobrepresión p_e la indica el manómetro del contenido. Es la diferencia entre la presión absoluta existente en la botella p_{abs} (presión referida a la presión cero en el vacío) y la presión atmosférica $p_{amb} \approx 1$ bar.

Ejemplo: $p_{abs} = 201$ bar, $p_{amb} = 1$ bar. Sobrepresión en la botella de oxígeno: $p_e = p_{abs} - p_{amb} = 201 \text{ bar} - 1 \text{ bar} = 200$ bar.

Se entiende por contenido de la botella V_n el volumen de gas disponible, referido a la presión atmosférica.

Ejemplo: Volumen (contenido de agua) de una botella de acero ligero $V_w = 50$ dm³, presión llena de gas $p_e = 200$ bar, presión atmosférica $p_{amb} = 1$ bar, presión absoluta de la botella $p_{abs} = 201$ bar.

El volumen del gas comprimido, referido a 1 bar es:

$$V \cdot p_{amb} = V_w \cdot p_{abs};\ V = \frac{50 \text{ dm}^3 \cdot 201 \text{ bar}}{1 \text{ bar}};\ V = 10050 \text{ dm}^3$$

Como en la botella quedan siempre 50 dm³ a la presión atmosférica, la capacidad disponible de la botella es de $V_n = 10\,000$ dm³.

Capacidad de la botella: $V_n = p_e \cdot V_w;\ V_n = 200 \text{ bar} \cdot 50 \text{ dm}^3 = 10000 \text{ dm}^3$

Acetileno

El gas se obtiene por la reacción química del carburo cálcico con el agua:

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2 + \text{calor}$$

El acetileno (C_2H_2) como gas combustible tiene, en comparación con otros gases (propano, hidrógeno, gas natural) la ventaja de su mayor velocidad de combustión, de su mayor potencia de llama y de la mayor temperatura de la llama.

Un gas con mayor velocidad de combustión produce una llama más corta que un gas con menor velocidad de combustión. La potencia de llama es la cantidad de calor en kJ (kilojulios) que se aporta en un segundo a un centímetro cuadrado de la superficie de la pieza (ver tabla). El acetileno y el oxígeno se mezclan intensamente en el tubo mezclador del soplete. La mezcla se inflama a la tempera-



Valor medio	Acetileno	Propano	Metano
1. Velocidad de combustión en cm/s	700	270	300
2. Temperatura de la llama en °C	3200	2800	2760
3. Potencia de la llama en kJ/(cm² · s)	16.0	2.5	6.5
4. Proporción de mezcla oxígeno:gas combustible	1,05:1	3,75:1	1,6:1

Figura 3-587. Valores característicos de los gases combustibles.

tura de 335°C y resulta:

Acetileno + Oxígeno → Dióxido de carbono + Agua + Calor

$2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$ + Calor

Un metro cúbico de gas acetileno produce una cantidad de calor que puede llegar a 57 000 kJ. La energía calorífica calienta el material de la pieza a la temperatura de fusión y lo funde.

Experimento:

En un cilindro de $V_1 = 50$ cm³ se encuentra oxígeno a la presión absoluta $p_{abs\,1} = 2{,}2$ bar. Si el volumen aumenta a $V_2 = 100$ cm³, por aplicar menor fuerza al émbolo, la presión absoluta del gas baja a $p_{abs\,2} = 1{,}1$ bar.

Resulta: 2,2 bar · 50 cm³ = 1,1 bar · 100 cm³.

$$p_{abs\,1} \cdot V_1 = p_{abs\,2} \cdot V_2$$

Ley de Boyle-Mariotte

A igualdad de temperatura, el producto de la presión de una cantidad de gas contenido en un recipiente por el volumen de éste es constante.

Explicación: Las moléculas gaseosas se encuentran en constante movimiento. Chocan contra las paredes del recipiente y producen una presión. Si la cantidad de gas se dilata hasta ocupar el doble del volumen, el número de moléculas por cada unidad de volumen se reduce a la mitad. Por lo tanto, se reduce también a la mitad el número de moléculas que chocan con la unidad de superficie y, en consecuencia, la presión.

Propiedades del acetileno

Es incoloro, invisible, no venenoso, de olor penetrante, arde con llama luminosa. Su descomposición comienza a 2 bar por lo que la presión de soldadura no deberá exceder de 1,5 bar. La temperatura de inflamación es de 335°C, la temperatura de combustión con oxígeno es de 3 200°C.

Las **botellas de acetileno** son de tubo de acero estirado sin costura. El acetileno tiende a la explosión con una sobrepresión de 2 bar; se trata de un proceso de descomposición con desprendimiento de calor ($C_2H_2 \rightarrow 2\,C + H_2$). Por esta razón, las botellas de acetileno se llenan con una masa porosa formada por amianto, tierra de diatomeas y carbón vegetal empapada de acetona. Los numerosos y diminutos poros impiden la autodescomposición del acetileno disuelto en la acetona. Un litro de acetona, a la presión atmosférica (1 bar) disuelve, aproximadamente, 24 litros de acetileno. Una botella de acetileno contiene normalmente 13 litros de acetona. Si la presión de llenado (sobrepresión) es de 18 bar, es decir, si la presión absoluta es de 19 bar, en una botella se encuentran disueltos $13 \cdot 19 \cdot 24 \triangleq 6\,000$ litros de acetileno.

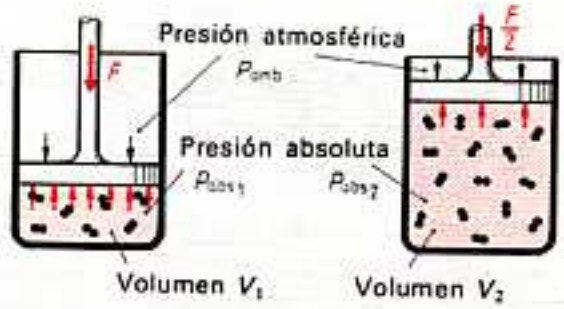
Al abrir la botella disminuye la presión y, por lo tanto, el poder de disolución de la acetona. De ella se desprende acetileno y sales.

Las **válvulas reductoras de presión** sirven para reducir la presión del gas que sale de la botella a la presión de trabajo manteniéndola lo más uniforme posible. La reducción de presión puede hacerse en un solo paso (que es lo usual con los gases combustibles) o en dos pasos (con el oxígeno).

Las **mangueras** son de colores distintivos para el oxígeno (ϕ 4, 6, 9 y 11 mm) y para el gas combustible. Deben asegurarse a las boquillas con abrazaderas u horquillas de cierre.

Prevención de accidentes

Abrir lentamente la válvula de la botella. — Si se hace mucho consumo, usar dos botellas. — Después de cada utilización del gas cerrar de nuevo la botella. — Proteger las botellas contra el calentamiento. La presión de



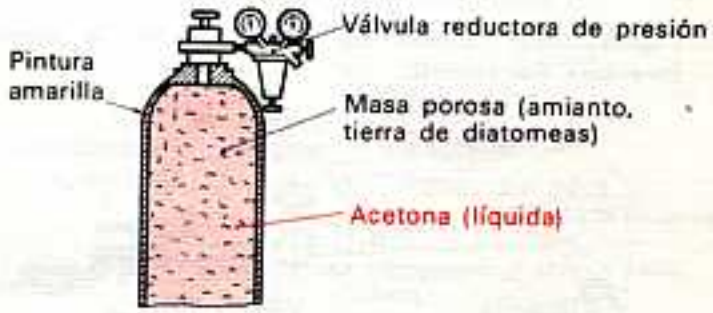


Figura 3-588. Botella de acetileno.

Gas	Color identif.	Conexión de la válvula
Oxígeno	Azul	G 3/4
Acetileno	Amarillo	abrazadera
Hidrógeno	Rojo	W 21,8 × 1/14 izq.
Propano	Rojo	W 21,8 × 1/14 izq.
Nitrógeno	Verde	W 24,32 × 1/14
Aire comprimido	Gris	G 5/8 rosca interior

Figura 3-589. Válvulas y colores de identificación de las botellas.[1]

[1] Compruébese en el país correspondiente los colores aprobados por sus respectivas normas para las botellas y sus ojivas y no estos datos como norma universal.

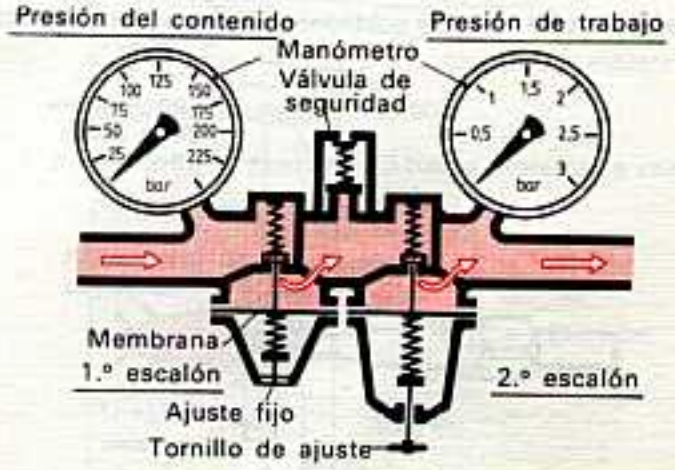


Figura 3-590. Válvula reductora de presión, dos escalones.

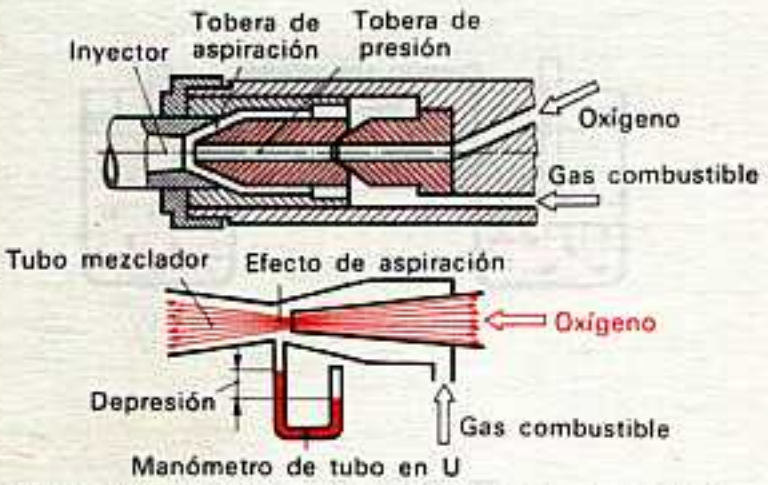


Figura 3-591. Efecto de aspiración de la boquilla inyectora del soplete.

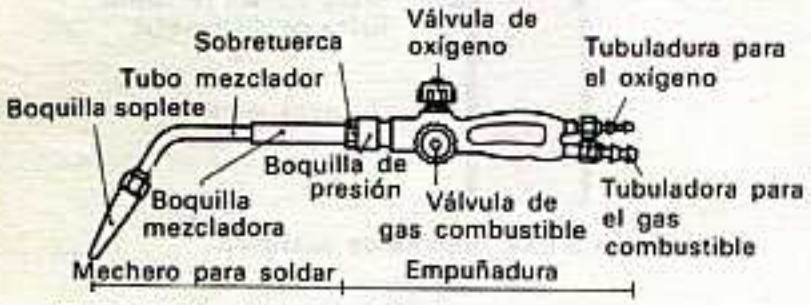


Figura 3-592. Soplete soldador.

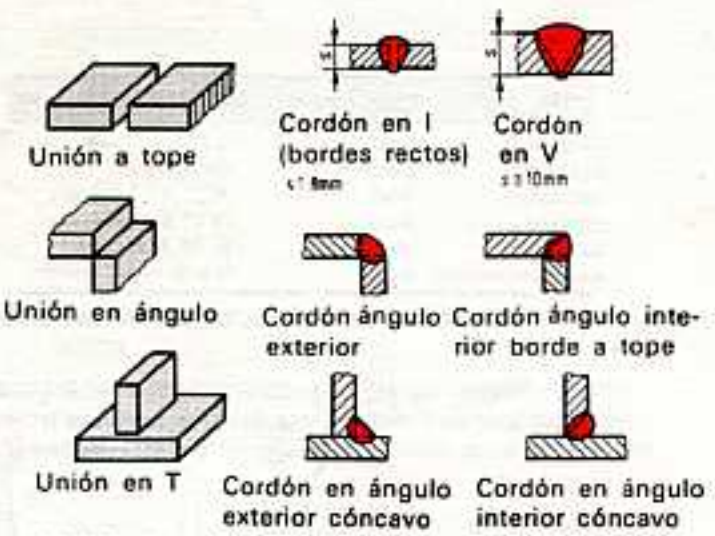


Figura 3-593. Juntas soldadas y cordones de soldadura.

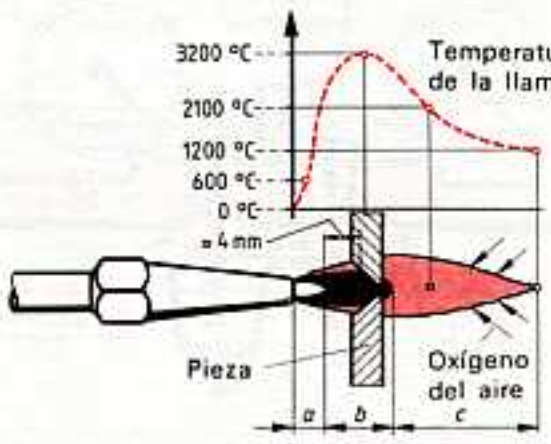


Figura 3-594. Ajuste de la llama acetileno-oxígeno. *a* = Cono de la llama; *b* = Zona de soldadura; *c* = Llama dispersa.

trabajo normal del acetileno es de 0,3 a 0,6 bar, y no debe pasar de 1,5 bar.

Las botellas de acetileno no deben colocarse horizontalmente durante el trabajo porque saldría la acetona con el acetileno. Deben comprobarse las botellas cada seis años, aunque la primera revisión ha de ser a los tres años.

La grifería del oxígeno ha de estar libre de grasa, glicerina o aceite. — El oxígeno con aceite es explosivo.

Las gafas protectoras y los filtros protectores son elementos imprescindibles de protección ocular.

Funcionamiento del soplete de soldar

El **soplete de soldar** se basa en el principio del inyector. El oxígeno sale a gran velocidad de la boquilla a presión. Se dilata y experimenta una reducción de presión. Se produce una depresión y, en consecuencia un efecto de aspiración que arrastra al gas combustible.

Trabajar con soldadura a gas

Antes de soldar las piezas hay que prepararlas. Los bordes de contacto han de adquirir la forma adecuada. También han de quedar libres de óxido, aceite, cascarilla, grasa o pintura.

La **varilla de soldadura** aporta el metal que falta. Sus propiedades deben corresponder a las del material que se suelda. Para protegerlas contra la corrosión están cobreadas.

Formas del cordón de soldadura. Las piezas que se han de soldar se unen por medio de un cordón de soldadura para formar la pieza soldada. Los tipos más usuales de unión de piezas son la unión a tope, la unión en ángulo y la unión en T. En la unión a tope, las dos piezas que se han de soldar están en el mismo plano, los tipos usuales de cordón de soldadura son el cordón en I y el cordón en V. En la unión en ángulo, se ponen en contacto las dos piezas por sus extremos formando entre sí un ángulo cualquiera. En la unión en T, el borde de una de las piezas apoya perpendicularmente sobre la superficie de la otra pieza. Los tipos de cordón de soldadura usuales son el cordón en ángulo exterior y el cordón en ángulo interior. La Norma DIN determina 19 tipos básicos de cordón de soldadura.

Regulación de la llama de soldadura

Al encender la llama de soldadura se abre primero un poco la válvula del oxígeno y luego la del gas combustible. En el soplete se mezclan los dos gases y, si la proporción de la mezcla es correcta, se obtiene en la llama el cono perfectamente delimitado y de luz clara.

Para apagar el soplete, primero hay que cerrar la válvula del gas.

Con la llama neutra, el oxígeno y el acetileno se mezclan en la proporción 1:1,1. La llama de cono blanco indica combustión incompleta del gas (monóxido de carbono e hidrógeno), porque le falta oxígeno. El resto de la llama actúa como reductora, es decir, toma oxígeno del aire o de la pieza que se está soldando. De esta manera se dificulta mucho la formación de óxido en la pieza durante la soldadura.

Variantes de la soldadura

La **soldadura en una pasada** significa que el cordón de soldadura se realiza en una sola pasada. Hay también soldaduras en dos pasadas o en varias pasadas.

La **soldadura unilateral** consiste en soldar las piezas por un solo lado, la soldadura bilateral se realiza por ambos lados de las piezas.

En la **soldadura a izquierdas** (para chapa fina, hasta 3 mm) la varilla va por delante de la llama. Por efecto de soplado la llama empuja hacia delante el material fundido. Inconvenientes: pérdida de calor, rápido enfriamiento, textura con defectos.

En la **soldadura a derechas** (se utiliza con materiales de más de 3 mm de espesor) la varilla sigue a la llama, la cual calienta bien la zona de fusión y retiene el material fundido por efecto de soplado.

También es frecuente fijar las piezas que se han de soldar en su posición relativa deseada por medio de puntos de soldadura o cordones de soldadura cortos. Es lo que se denomina **fijación por puntos.**

Desarrollo del trabajo de soldadura

El sitio de soldadura se calienta con la llama (llama neutra) hasta que el cono de la misma se refleje en el baño de fusión y los bordes de las piezas comiencen a fluir conjuntamente. Para rellenas la junta y para formar el cordón se necesita una varilla de soldar. El soplete y la varilla se manejan de modo que el cordón de soldadura se una perfectamente hasta la parte inferior (raíz) de la junta. Por medio de un movimiento uniforme, manteniendo debidamente el soplete y con ajuste correcto de la llama se evitan burbujas y entalladuras. Las inclusiones de escorias se impiden por agitación del baño de fusión con la varilla de soldar.

SOLDADURA POR FUSIÓN CON ARCOS (Soldadura al arco voltaico)

El baño de soldadura se produce por la acción de un arco voltaico que salta entre el electrodo y la pieza. Si el electrodo se funde, sirve al mismo tiempo de material de aportación.

Soldadura al arco con electrodo metálico

El arco voltaico salta entre un electrodo que se funde y la pieza. El acceso del aire atmosférico al arco y al baño de soldadura sólo lo impiden los gases y las escorias procedentes del electrodo.

Una variante de la soldadura con electrodo metálico que se utiliza en los talleres es la **soldadura al arco a mano** en la que el electrodo de varilla se maneja manualmente.

Generación del arco voltaico

En la soldadura al arco voltaico, el generador eléctrico, el electrodo, el arco y la pieza forman un circuito cerrado. Una vez conectado el generador eléctrico, al principio no circula corriente porque el aire, que no es buen conductor, interrumpe el circuito. Ante todo se apoya brevemente el electrodo (la varilla de soldar) sobre la pieza. De esta manera, como consecuencia del cortocircuito, se produce una fuerte intensidad de corriente. Los electrones se mueven desde el electrodo a la pieza. Como consecuencia de la gran resistencia eléctrica del punto de contacto se produce un intenso calentamiento. De esta manera, el flujo de electrones continúa al levantar el electrodo a una altura igual a su espesor. Los electrones chocan ahora con las moléculas de oxígeno y de nitrógeno del aire. En el choque, se disocian algunas moléculas en átomos y expulsan algunos electrones de

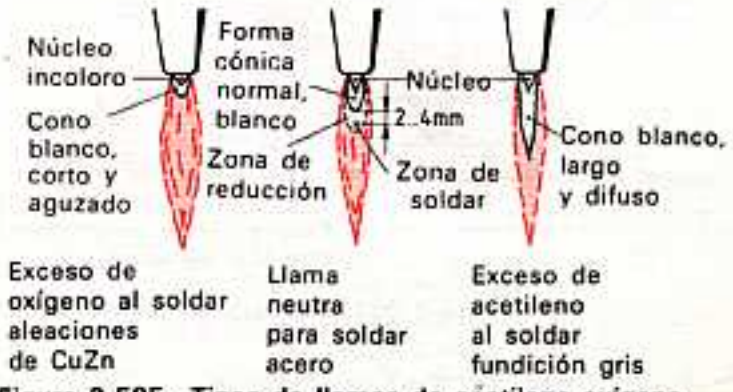


Figura 3-595. Tipos de llamas de acetileno-oxígeno.



Figura 3-596. Soldadura a izquierdas (hasta 3 mm).

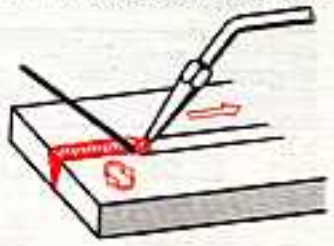


Figura 3-597. Soldadura a derechas (más de 3 mm).

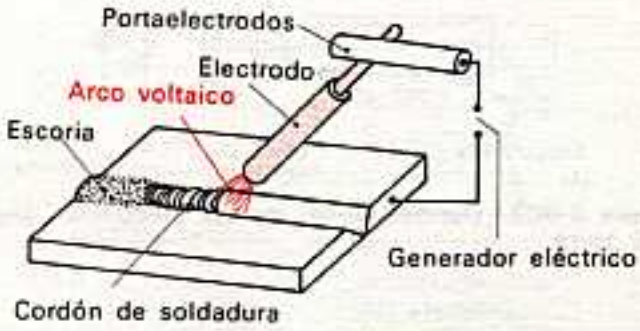


Figura 3-598. Soldadura al arco voltaico, a mano.

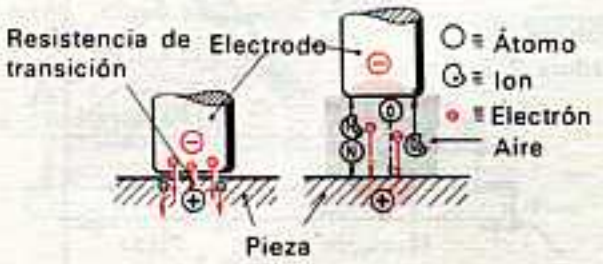


Figura 3-599. Formación del arco.

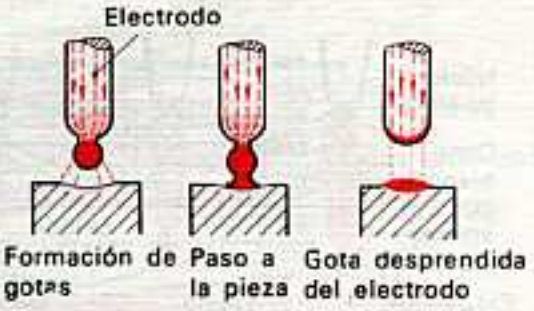


Figura 3-600. Proceso de fusión.

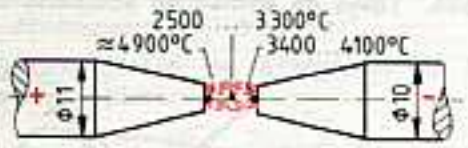


Figura 3-601. Temperaturas en el arco.
(a menor separación mayor temperatura)

Valores para los electrodos de varilla sin revestimiento

Espesor de la chapa en mm	ϕ de los electrodos en mm	Tensión de soldadura en V	Intensidad de la corriente en A
0.75	1,5	13...15	18... 22
1	1,5	13...16	24... 30
1,5	2,0	16...18	33... 40
2	2,5	16...18	50... 60
3	3,25	16...18	80...120
4... 5	4,0	17...19	120...180
6... 7	4,0...5,0	17...19	150...200
8...10	6,0	18...20	160...200

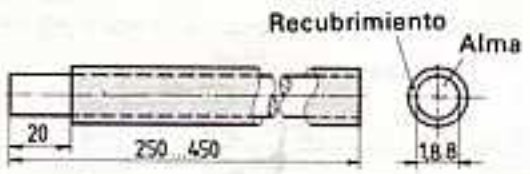


Figura 3-602. Denominación de los electrodos según DIN 1913.



Figura 3-603. Proceso de soldadura al arco voltaico.

la capa electrónica del átomo. De esta manera, los átomos se convierten en iones positivos y se forma un plasma térmico (4.° estado de agregación). Los electrones chocan a gran velocidad con la pieza (polo positivo) y la funden (temperatura 4 000°C). En la pieza se produce una penetración. Los iones positivos pugnan en sentido contrario hacia el electrodo negativo y, al chocar, producen una temperatura tan alta (3 500°C) que el electrodo se funde y gotea.

Electrodos de varilla

Para las soldaduras de unión de aceros no aleados o de baja aleación y calidades de acero fundido semejante se utilizan electrodos desnudos (hoy se utilizan electrodos rellenados con un aditivo de materias minerales para estabilizar el arco voltaico) y electrodos revestidos. Según la Norma DIN 1913 sólo están normalizados los electrodos revestidos. Pueden ser componentes del revestimiento el óxido de titanio (revestimiento de rutilo), el ferromanganeso (revestimiento ácido), el carbonato cálcico (revestimiento básico) o la celulosa (revestimiento de celulosa u orgánico). El revestimiento se funde y cumple las funciones siguientes:

1. Formar una envoltura gaseosa que protege al material en fusión contra el aire circundante. Se impide la penetración de nitrógeno y de oxígeno (el nitrógeno es causa de fragilidad y el oxígeno produce inclusiones de óxidos).
2. Contiene elementos que acompañan al acero con lo que suple, en parte, las materias eliminadas por combustión, por ejemplo el manganeso y el carbono.
3. Estabiliza el arco eléctrico por la ionización del aire.
4. Forma escorias que se depositan encima del cordón de soldadura, con lo que el enfriamiento es más lento y se reducen las tensiones en el material.
5. Las escorias absorben las impurezas del baño de fusión.

Los electrodos revestidos se especifican en las normas DIN. Los grupos de denominación (1) a (4) del ejemplo de la figura 3-602 designan los electrodos e informan sobre las características tecnológicas del material que se ha de soldar, sobre el espesor y tipo del revestimiento, sobre las posiciones de soldadura y sobre las características de la corriente eléctrica exigidas.

(1) = Denominación: Electrodo para la unión por soldadura de piezas de aceros no aleados y de baja aleación, según DIN 1913 T1.
(2) E = Soldadura al arco voltaico a mano
43 = Según la tabla 1 de la Norma DIN 1913 garantiza una resistencia a la tracción del material soldado de 430 a 550 N/mm² y un límite de fluencia de 360 N/mm²
(3) 21 = Según la tabla 2 de DIN 1913 se garantiza un alargamiento mínimo del 22% del material soldado y una capacidad de trabajo en la prueba de resiliencia de 28 J a la temperatura de +20°C
(4) R3 = Es un tipo de electrodo de la clase 3 (tabla 4 de DIN 1913) con revestimiento de rutilo de espesor medio que, según las tablas 5 y 6, es apropiado para todas las posiciones de soldadura y para corrientes contínua o alterna; con la corriente alterna, la tensión en vacío del transformador ha de ser, como mínimo, de 50 V.

Proceso de soldadura

A causa de la temperatura del arco voltaico, el electrodo, el revestimiento y una zona de la superficie de la pieza se funden. El material del electrodo debe mezclarse íntimamente con el material base y a suficiente profundidad, o sea que la penetración ha de ser suficientemente profunda. Puede influirse en la penetración por medio de la intensidad de la corriente y por medio del tipo de electrodo, por

ejemplo empleando electrodos de penetración profunda. Los fabricantes de electrodos dan en los paquetes de electrodos el intervalo de intensidades que puede aplicarse para cada electrodo.

Regla práctica: los electrodos desnudos y los electrodos con revestimiento delgado requieren intensidades de 35 a 45 amperios por mm de diámetro del electrodo; los electrodos con revestimiento medio y grueso requieren intensidades de 40 a 50 amperios por mm de diámetro del electrodo. Un electrodo de 4 mm de diámetro necesita, para fundirse, una intensidad de unos 160 amperios.

Reglas de trabajo: El electrodo debe inclinarse unos 50° respecto al sentido de avance de la soldadura. Antes de soldar, la pieza ha de limpiarse de óxido, cascarilla, pintura, aceite, grasas y cualesquiera otras impurezas. A cada interrupción del arco, el baño de fusión se solidifica formando un cráter.

Antes de iniciar de nuevo el trabajo, con un martillo de puntas y con un cepillo de alambre hay que quitar las escorias y limpiar el cordón de soldadura. El arco voltaico se encenderá por delante del cráter. El arco debe siempre dirigirse hacia la masa, es decir, al punto donde se concentra la masa de la pieza. Los cordones angulares grandes se harán en varias pasadas.

Soldadura con corriente contínua

Las tensiones eléctricas usuales son 220 V o 380 V en corriente alterna. Estas tensiones para soldar serían peligrosas para la vida. Para el encendido del arco se necesita corriente contínua de 50 V a 70 V y para mantener el arco durante el trabajo las tensiones necesarias son de 20 V a 30 V. La tensión de trabajo debe mantenerse en este intervalo. Se producen oscilaciones según que el arco sea largo o sea corto, pero las variaciones de la intensidad son pequeñas. Los generadores eléctricos para la soldadura están construidos de modo que al aumentar la intensidad se reduce la tensión. La relación entre ellas se tiene en la *curva característica intensidad-tensión*. En el momento de cortocircuito (contacto del electrodo con la pieza y paso de gotas) se mantiene una intensidad de corriente limitada por arriba.

En el **convertidor de soldadura**, un generador de corriente contínua se acciona por medio de un motor de corriente trifásica. Por medio de un regulador se ajusta la máxima intensidad de corriente admisible.

El **rectificador de soldadura** está formado por un transformador trifásico y un rectificador. En el transformador, la tensión de la red se transforma a una tensión alterna más baja y en el rectificador se convierte la corriente alterna en corriente contínua débilmente pulsatoria.

Conexión de los cables de soldar: Con la corriente contínua se conectan, en general, el polo positivo a la pieza y el polo negativo al electrodo. Se produce así una elevada temperatura en la pieza con mayor profundidad de penetración. En la soldadura con material de aportación y en la soldadura de aceros aleados, el polo positivo se conecta al electrodo. Se consigue así una penetración más reducida.

Efecto de soplado. Al soldar con corriente continua, especialmente al soldar acero, el arco voltaico es desviado al punto deseado por los campos de fuerzas electromagnéticas. En la soldadura al arco, la desviación del arco voltaíco se produce por efecto mútuo de los campos magnéticos de la pieza (y del cordón de soldadura) y del electrodo. Con ésto se perturba el trabajo de soldadura. El fenómeno puede corregirse manteniendo inclinado el electrodo contra la dirección del efecto de soplado y desplazando las pinzas de conexión a la pieza.

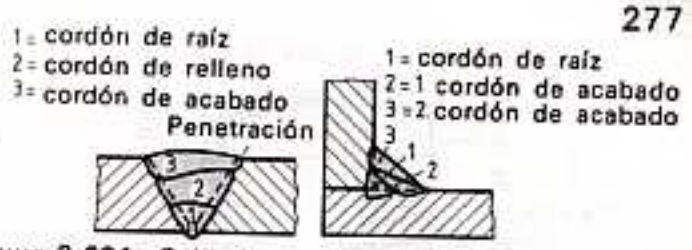


Figura 3-604. Soldadura en varias pasadas para piezas gruesas.

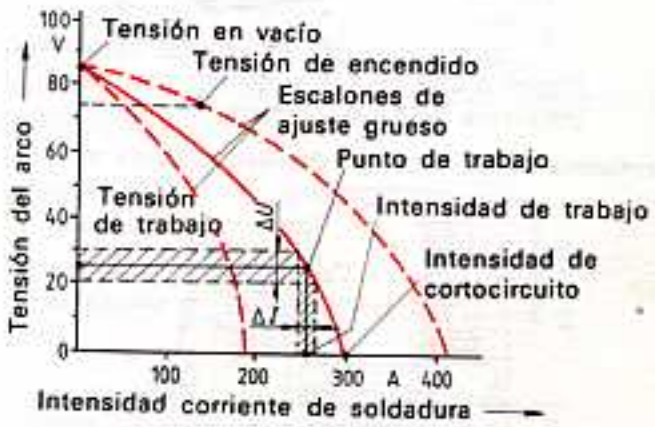


Figura 3-605. Curva característica Intensidad-Tensión en un generador eléctrico para soldadura.

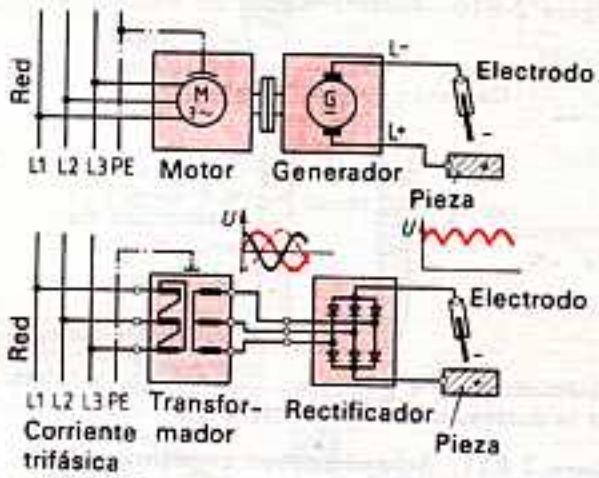


Figura 3-606. Convertidor y rectificador de soldadura.



Figura 3-607. Efecto del soplado por campo electromagnético.

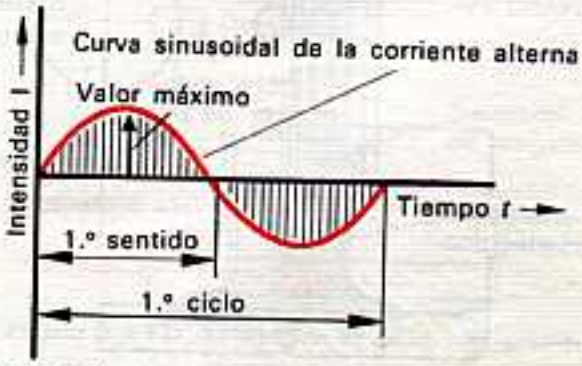


Figura 3-608. Línea de la tensión en la corriente alterna.

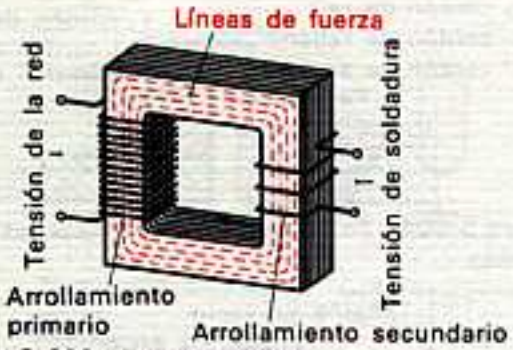


Figura 3-609. Transformador (esquema de funcionamiento).

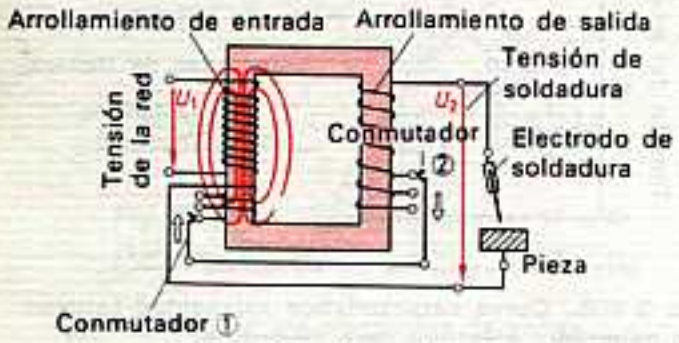
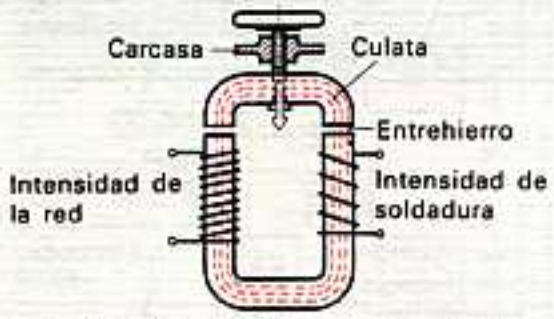


Figura 3-610. Transformador de soldadura.



Regulación magnética por levantamiento de la culata. Al levantar la culata se reduce la intensidad de la corriente.

Figura 3-611. Soldadura con corriente alterna.



Figura 3-612. Soldadura bajo polvo para aceros de construcción de bajo contenido de carbono empleados en construcción naval, puentes y calderas.

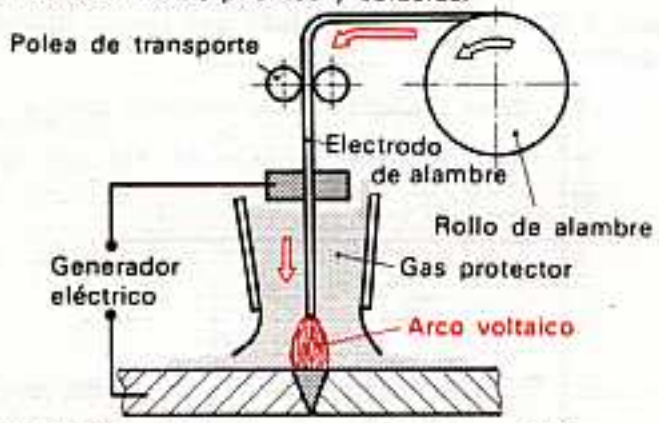


Figura 3-613. Soldadura con electrodos metálicos y gas protector.

Soldadura con corriente alterna

La corriente alterna cambia su sentido y, por tanto, su polaridad 100 veces por segundo (si la frecuencia es de 50 Hz o 50 períodos por segundo).

Cada vez se interrumpe el arco voltaíco porque en los conductores los electrones no circulan como en la corriente contínua, sino que sólo oscilan de un lado a otro. Para impedir la interrupción, el revestimiento de los electrodos lleva unos aditivos que ionizan el espacio entre electrodo y pieza haciendo conductor al aire y facilitan la formación del arco voltaíco.

Transformadores de soldadura. Transportan la energía eléctrica. Están formados por dos bobinas separadas sobre un mismo núcleo de hierro. El arrollamiento de entrada o arrollamiento primario tiene un gran número de espiras; el arrollamiento de salida o arrollamiento secundario tiene un número de espiras menor.

La corriente alterna de la red, de alta tensión, y baja intensidad, se transforma en una tensión más baja con mayor intensidad. La tensión y la intensidad de soldadura dependen, pues, de la diferencia entre el número de espiras de ambos arrollamientos de entrada y de salida. Cuanto mayor es la diferencia entre los números de espiras de los arrollamientos, más baja es la tensión de soldadura y más elevada la intensidad.

La corriente de soldadura puede regularse por medio de los conmutadores (1) y (2). Puede incrementarse aumentando el número de espiras del arrollamiento A y reduciendo el mismo número de espiras del arrollamiento B. La máxima intensidad de corriente de soldadura se consigue con la posición de los conmutadores representada en la figura.

Transformadores de tensión. Están formados por un núcleo de hierro y dos bobinas. La regulación de la intensidad de corriente se consigue modificando la distancia entre las bobinas o levantando la culata magnética del núcleo.

Ventajas: Coste de instalación un 50% más bajo que en los convertidores de soldadura y el consumo un 30% menor.

Inconvenientes: Mayor peligro de accidentes, pérdidas por derivación en los electrodos y arco no fijo.

Soldadura bajo polvo

El arco y la zona de soldadura se recubren con una capa de polvo. El baño de soldadura queda protegido contra la entrada del aire atmosférico por las escorias producidas por el polvo.

La soldadura bajo polvo es uno de los métodos más importantes de soldadura automática.

Ventajas: Cordones de soldadura perfectos, no hay deslumbramiento, gran velocidad de soldadura, grandes espesores de chapa.

Soldadura con gas protector (Soldadura al arco con gas protector)

Los electrodos, el arco y el baño de soldadura se protegen contra el aire atmosférico por medio de un gas protector aportado al sitio de la soldadura.

Según el tipo de electrodo y de gas protector hay que distinguir: electrodo metálico (fundente), electrodo de tungsteno (no fundente), gas protector inerte, (que no reacciona), como argón, helio o sus mezclas, gas protector activo, por ejemplo, el dióxido de carbono,

que sólo es adecuado para soldar aceros no aleados o de baja aleación. El CO_2 se descompone a altas temperaturas. El oxígeno oxida el extremo líquido del electrodo con lo que se forman gruesas gotas que salpican si el arco voltaíco es largo.

Soldadura con electrodo metálico y gas protector

El arco voltaíco salta entre el electrodo de alambre y la pieza. El electrodo se funde proporcionando así el material de aportación. El alambre de soldar (electrodo) se aplica al arco por medio de un motor de avance de electrodos de velocidad regulable según el diámetro del electrodo y la intensidad de la corriente. El gas protector puede ser inerte o activo.

Soldadura con electrodo metálico y gas inerte (Soldadura MIG)

El gas protector es inerte y no reacciona con el caldo. Con ésto se forma un arco difuso. El paso del material es en gotas finas y no se producen cortocircuitos.

Ventajas: Gran potencia de fusión, apropiado para aceros aleados y no aleados, aluminio y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones.

Soldadura con electrodo metálico y gas activo (Soldadura MAG)

Se utiliza para los aceros no aleados y los de baja aleación. Como gases protectores se utilizan el dióxido de carbono (CO_2) o mezclas de gases como, por ejemplo, 80% de argón, 15% de dióxido de carbono y 5% de oxígeno. Las chapas, tanto finas como medias y gruesas, se sueldan con un arco corto, con lo que se consigue que el calentamiento de la pieza sea menor. Cuando la gota licuada del metal toca el baño de caldo, se produce un cortocircuito que apaga el arco y se interrumpe la producción de calor.

Soldadura con electrodo de tungsteno y gas protector

El arco salta entre un electrodo permanente de tungsteno y la pieza, u otro segundo electrodo o la pared interior de una boquilla. Si se necesita aportación debe aplicarse a mano. Sólo se utiliza gas inerte.

Soldadura con electrodo de tungsteno y gas inerte (Soldadura WIG)

En la soldadura con corriente contínua es posible polarizar negativamente el electrodo de tungsteno, con lo que el electrodo tiene menor temperatura que la pieza positiva. De esta manera, el electrodo puede aguzarse y el arco se mantiene estable. Este método es muy apropiado para aceros aleados y para metales pesados no férreos. Los metales ligeros suelen soldarse con arco de corriente alterna porque las capas de óxido se funden mejor.

3.13.3 Soldadura a presión

Soldadura con electrodo de tungsteno y plasma (Soldadura al arco con plasma)

Se denomina plasma a un gas que, por ionización, se hace conductor. El gas plasma (generalmente argón) se calienta mucho en la boquilla por medio de un arco voltaíco. La ionización se consigue por medio de un aparato de encendido. La boquilla tiene que refrigerarse con agua.

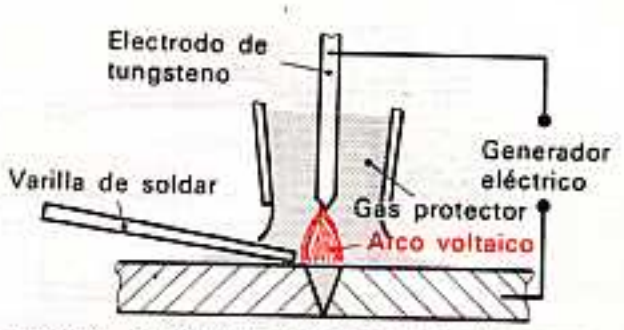


Figura 3-614. Soldadura con electrodo de tungsteno y gas protector.

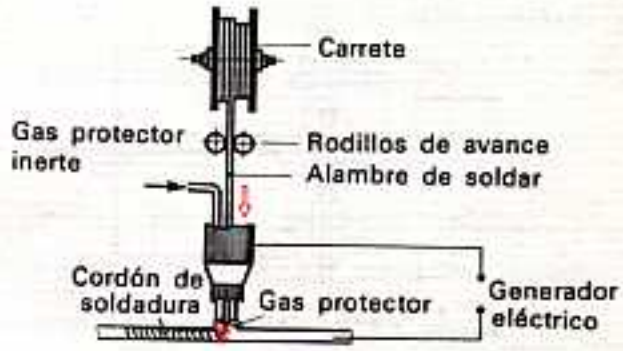


Figura 3-615. Soldadura MIG.

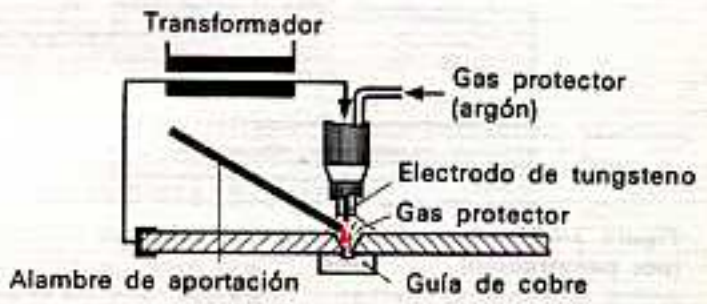


Figura 3-616. Soldadura WIG.

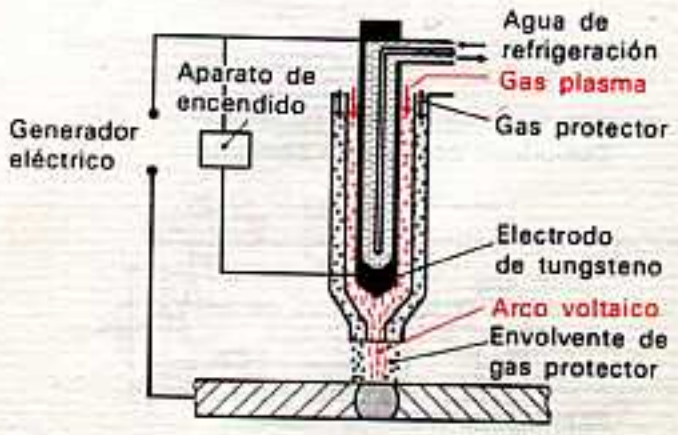


Figura 3-617. Soldadura al arco con plasma.

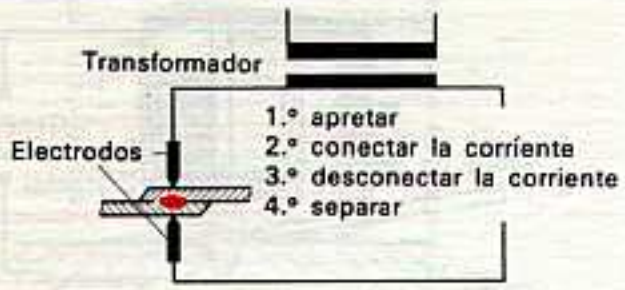


Figura 3-618. Soldadura por puntos para chapa.

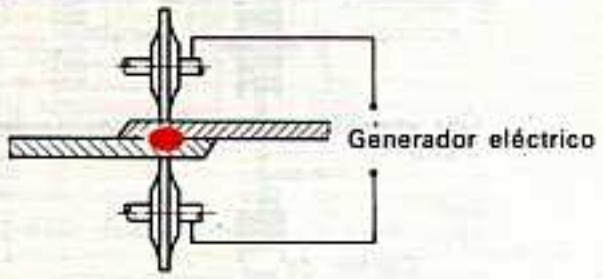


Figura 3-619. Soldadura por roldanas.

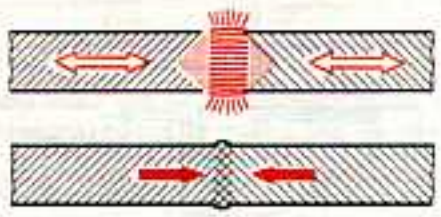


Figura 3-620. Soldadura a tope por chispas (por penetración).
Arriba: Movimiento alternativo hasta que se forma el arco.
Abajo: Fuerte golpe de recalcado.

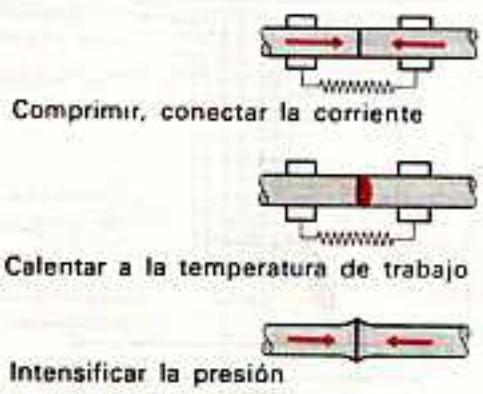


Figura 3-621. Soldadura a tope por resistencia (por presión).

Se trabaja con arco voltaíco no transmisible entre el electrodo de tungsteno y la pared interior de la boquilla de plasma, y con arco transmisible entre el electrodo de tungsteno y la pieza.

El gas plasma ionizado se inflama en el mechero de plasma por medio de un arco voltaíco auxiliar. El gas de plasma forma el arco (chorro de plasma) que se rodea con gas protector. El chorro de plasma se estrecha muchísimo en la boquilla, por lo que no se sale por ningún lado. Debido a la intensa concentración conseguida puede trabajarse con escasa intensidad de corriente (hasta 1 A). La soldadura al plasma es ventajosa para soldar chapas finas y en automación.

SOLDADURA POR RESISTENCIA

El calor necesario para la soldadura se produce por medio de una corriente eléctrica utilizando la resistencia óhmica en la zona de la soldadura. Se aplica por medio de electrodos. Las piezas se sueldan sometiéndolas a presión.

La temperatura en la zona de contacto aumenta rápidamente hasta la temperatura necesaria para el trabajo. Comprimiendo las piezas o apretándolas una contra otra quedan soldadas las zonas de contacto. Se necesita una tensión de 2 a 10 V y una intensidad eléctrica hasta de 50 000 A. La corriente eléctrica es la suma de portadores de cargas eléctricas (electrones) que se mueven por la sección del conductor. Una intensidad de corriente elevada quiere decir que hay un gran número de electrones en movimiento. En los puntos de contacto, el movimiento de los electrones se dificulta enormente, con lo que una parte de la energía cinética se convierte en calor.

Soldadura por puntos es un método en que la corriente eléctrica y la fuerza se transmiten por medio de unos electrodos de soldadura por puntos.

Las piezas se comprimen entre los electrodos y después se conecta la corriente. En los puntos comprimidos se forma una lenteja (punto) de soldadura a causa de la resistencia eléctrica de la pieza. Un limitador de tiempo desconecta la corriente.

Soldadura por roldanas o rodillos. Es un procedimiento en el cual, en lugar de los electrodos de barra, se emplean unos electrodos de roldana o rodillo (la roldana superior suele ser la accionada). Se obtiene un cordón de soldadura liso y compacto, sin interrupciones, porque los puntos de soldadura están muy próximos entre sí.

Soldadura a tope por chispas (por penetración). Las piezas, sujetas con mordazas, se colocan en ligero contacto entre sí, con lo que al conectar la corriente eléctrica salta entre ellas un arco. Cuando las zonas de contacto están en fusión, se desconecta la corriente y las superficies de soldadura se comprimen fuertemente una contra otra. Se forma una rebaba de soldadura. El procedimiento es apropiado para el acero con alto contenido de carbono.

Soldadura a tope por resistencia (por presión). Las mordazas de sujeción son de cobre y comprimen las dos piezas una contra otra y conducen la corriente a la zona de soldadura. Cuando se llega a la temperatura de trabajo (estado pastoso), se desconecta la corriente y se intensifica la presión de apriete. En la zona de soldadura se forma un abombamiento de recalcado (efecto de forja). Es un procedimiento apropiado para aceros con bajo contenido de carbono, para cobre, aluminio y aleaciones de cobre y zinc.

3.13.4 Soldadura de plásticos

La soldadura de plásticos es la unión de los materiales sintéticos termoplásticos (que no endurecen) utilizando calor y presión. Es posible la aportación de un material plástico del mismo tipo.

SOLDADURA POR ELEMENTOS CALEFACTORES

Las superficies de contacto de las piezas se llevan a la temperatura de trabajo necesaria por medio de unos elementos calefactores de forma adecuada. A continuación se retira el elemento calefactor de la zona de contacto y se comprimen las superficies calientes de las piezas. En la **soldadura a tope**, en la zona de soldadura se forma un pequeño abultamiento. En la **soldadura por ranura**, después de aplicar la fuerza queda una huella en forma de ranura. En la **soldadura por plegado**, se imprime una ranura en la pieza por medio de un elemento calefactor en forma de cuña y se dobla. De esta manera se suelda la ranura impresa.

En la **soldadura por manguito** las superficies de contacto de las piezas se calientan por medio de un punzón o de un manguito calientes y a continuación se introducen la una en la otra. La fuerza se consigue por el asiento a presión de las piezas.

En la **soldadura por espira calefactora** se coloca en el manguito una espira calefactora que se queda en él. El tubo que se ha de soldar se introduce en el manguito y se conecta la espira a la corriente eléctrica. La pieza se calienta en la superficie de contacto (manguito). La fuerza necesaria se debe a la dilatación térmica de las piezas.

SOLDADURA POR GAS CALIENTE

Las piezas se calientan, en sus superficies de contacto, por medio de un gas caliente y se sueldan aplicando una fuerza. Suele aplicarse un material de aportación.

En la **soldadura en abanico** la boquilla de soldadura se hace pasar entre las piezas y el material de aportación, (en posición vertical) con un movimiento como de abanico; en la **soldadura por embutición**, el material de aportación se lleva en el aparato de soldadura y se calienta previamente.

SOLDADURA POR ULTRASONIDOS

Las superficies de unión de las piezas, comprimidas entre sí, se calientan y sueldan por medio de oscilaciones mecánicas de la banda de los ultrasonidos. Se aplica para la soldadura de láminas de plástico y de PVC blando.

SOLDADURA POR FRICCIÓN

Por este procedimiento se unen piezas como barras y tubos. La pieza 1 de las que se han de unir se coloca en una máquina para soldar por fricción o en un torno y se aprieta, mientras gira, contra la pieza 2, que está fija, hasta que en la zona de unión se ha alcanzado la temperatura de soldadura gracias al calor de la fricción.

La pieza giratoria se frena y se comprime contra la pieza fija hasta que el plástico de la zona de unión se haya solidificado.

SOLDADURA POR ALTA FRECUENCIA

El calentamiento de las superficies de contacto se efectúa en el campo del condensador de un generador eléctrico de alta frecuencia.

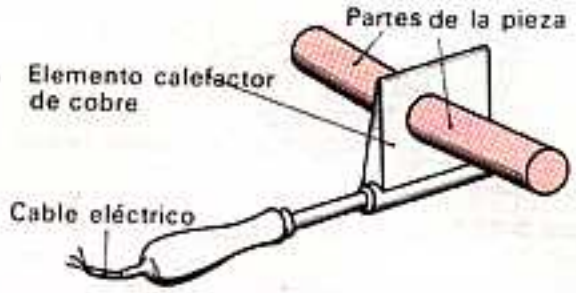


Figura 3-622. Soldadura a tope con elementos calefactores.
1.° Calentar
2.° Tirar hacia arriba
3.° Comprimir

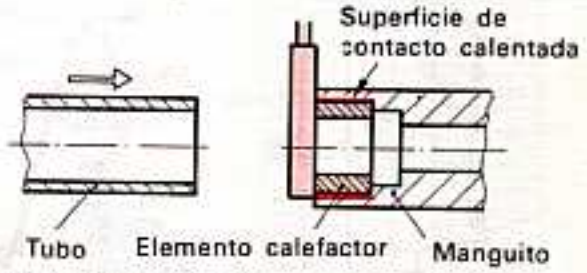


Figura 3-623. Soldadura por manguito-elemento calefactor.

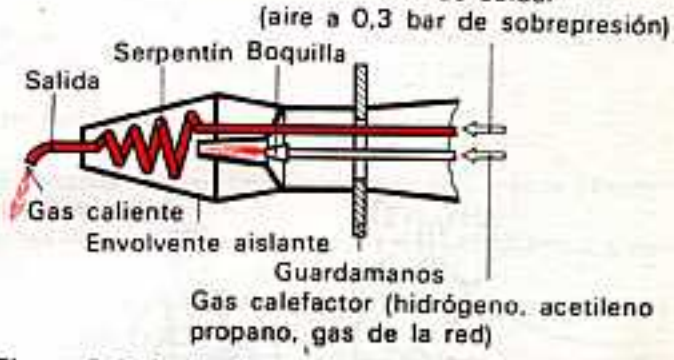


Figura 3-624. Soplete de gas caliente.

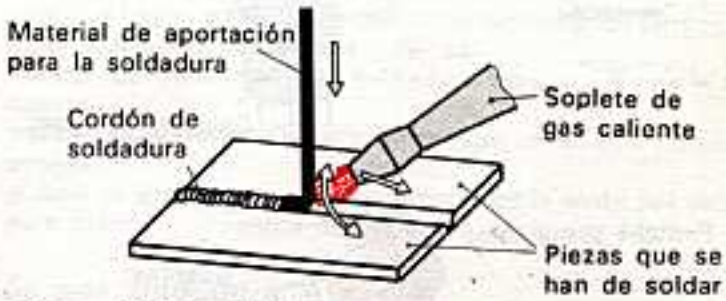


Figura 3-625. Soldadura en abanico con gas caliente.

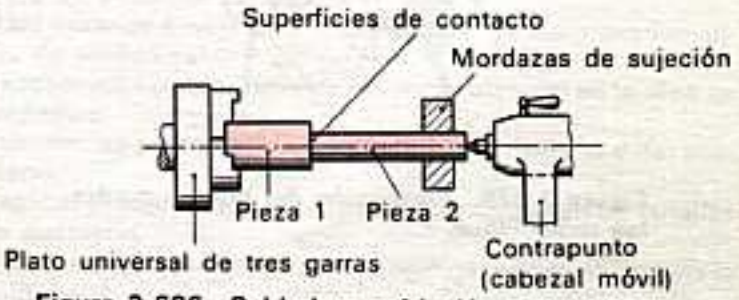


Figura 3-626. Soldadura a fricción con un torno.



Figura 3-627. Gafas de soldador.

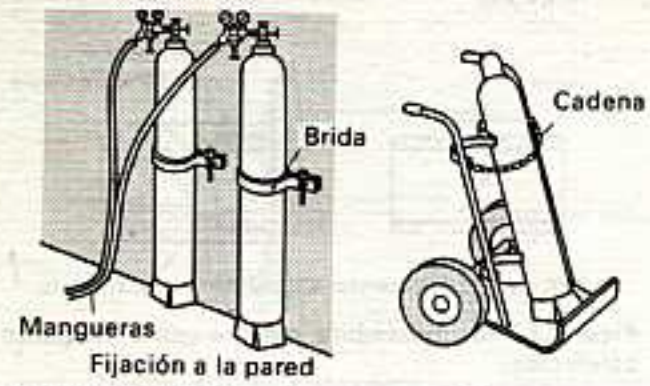


Figura 3-628. Botellas de gas protegidas contra caída.



Figura 3-629. Protección del cuerpo contra las radiaciones.

3.13.5 Prevención de accidentes

PRECAUCIONES EN LA SOLDADURA POR FUSIÓN A GAS

— Asegurar las botellas contra caída. — Para tomar el gas, las botellas de acetileno no deben colocarse en posición horizontal. — Las botellas de gas se han de proteger contra los calentamientos intensos y contra las heladas. — Las botellas de oxígeno se han de mantener limpias de aceite y grasa.

— Si hay escape de gas combustible se forman mezclas gaseosas explosivas. — Las faltas de estanqueidad en los tubos y en las conexiones se localizarán aplicando agua jabonosa con un pincel y se repararán inmediatamente. — Cuando se esté soldando hay que cuidar de que haya siempre buena renovación de aire fresco.

— Ponerse las gafas protectoras normalizadas. — Deben tener protección lateral para evitar que puedan saltar a los ojos partículas de escoria.

— Deben usarse zapatos de seguridad, ropa de trabajo difícilmente inflamable y guantes protectores.

— Deben procurarse la colocación de pantallas en la zona de soldadura para proteger a otras personas de las salpicaduras y de las radiaciones.

— Debe vigilarse la zona de soldadura para que no haya en ella ni en sus alrededores objetos inflamables (vigas de madera), si los hay deben protegerse o retirarlos. — Tener dispuestos aparatos extintores por si hacen falta.

PRECAUCIONES EN LA SOLDADURA AL ARCO

Para la soldadura al arco a mano, la tensión en vacío de los rectificadores y convertidores no debe pasar de 100 V y la de los transformadores no debe pasar de 70 V. En la soldadura con corriente alterna en locales reducidos, la tensión en vacío se limitará a 42 V.

Si se tiene el cuerpo sudado o la ropa mojada por la lluvia, la resistencia eléctrica es escasa. El contacto de los electrodos puede producir una sacudida mortal si el soldador está sobre una base conductora que permita el retorno a la máquina.

No soldar nunca con corriente eléctrica sin guantes. — La mesa de soldar debe estar conectada a tierra. — El soldador debe colocarse sobre madera o sobre una esterilla de goma. — Al cambiar el cable de soldar deben desconectarse los aparatos de soldadura.

Peligros del arco voltaico

Los ojos y la cara deben protegerse con una pantalla protectora o con gafas. El arco voltaico emite rayos ultravioletas que producen quemaduras en la conjuntiva y en la córnea, Se producen quemaduras en la piel si el cuerpo no está protegido.

Peligros debidos a gases y vapores

El desprendimiento de gases de los electrodos y partículas de su revestimiento al quemarse es tan intenso que se necesita una entrada constante de aire fresco. La protección del aparato respiratorio del soldador se consigue por medio de la extracción de los gases o por ventilación (no debe usarse oxígeno de la botella).

Peligros debidos al calor

Los metales al rojo, las escorias y sus salpicaduras ponen en peligro el entorno del puesto de soldadura.

Observación: los guantes, los delantales y la ropa protectora hecha con tejidos (impregnados) de cuero, protegen de las chispas, del calor y de las radiaciones. Para dar la vuelta o asir las piezas deben usarse tenazas y dispositivos de sujeción adecuados. Los incendios incipientes pueden combatirse eficazmente con arena o con extintores de polvo seco.



Figura 3-630. El circuito eléctrico se cierra a través del suelo mojado y por la falta de guantes del soldador. ¡Peligro de muerte!

Ejercicios

Unión por conformación

1. Explicar qué es la «unión por conformación».
2. Razonar por qué el roblonado o remachado es una unión con cierre de fuerza o de forma.
3. Determinar la longitud de un roblón.
4. Comparar los diámetros de un roblón en bruto y de un roblón colocado para los casos de remachado en frío y remachado en caliente.
5. ¿Cómo se explica la solicitación de un roblón a esfuerzo cortante?
6. Operaciones que se realizan en el remachado.
7. Citar y comparar diversas uniones remachadas.
8. Explicar la importancia del material de los roblones en relación con el peligro de corrosión.
9. Reglas para fijar la distancia entre roblones.
10. ¿Qué se entiende por «distancia al canto»?
11. Citar tres roblones especiales y dar ejemplos de aplicación.
12. Causas de los defectos de remachado.

Unión con pegamentos

13. Comparar las ventajas e inconvenientes de la unión con pegamentos con la unión por soldadura.
14. Explicar qué es la «resistencia flexocortante» y «cortadura por tracción».
15. Explicar y comparar la distribución de tensiones en el roblonado, la soldadura y el pegado.
16. ¿Por qué aparecen la adherencia y la cohesión al pegar?
17. ¿Qué importancia tiene la cohesión de un pegamento?
18. Explicar la relación de la adherencia con la aspereza de la superficie.
19. Razonar la importancia que tiene el tratamiento cuidadoso de la superficie de las piezas antes de pegarlas.
20. ¿Cómo se produce la unión con los pegamentos?
21. ¿Qué influencias sobre la resistencia de la unión pegada tienen la superficie rugosa o lisa y el pegamento muy viscoso o de escasa viscosidad? Dibujar y razonar.
22. ¿Cómo se aplican los pegamentos?
23. Explicar las diferencias entre pegamentos en frío y en caliente.
24. Explicar las diferencias entre los pegamentos de uno y dos componentes.
25. ¿En qué formas pueden ser solicitadas las uniones por pegamento?
26. Comparar una unión con pegamento solicitado a tracción con la resistencia a tracción del acero (R_m = 370 N/mm²).
27. Razonar por qué la solicitación a cizallamiento es la que actúa de modo más favorable en una unión pegada.

Unión por soldadura blanda y fuerte

28. ¿En qué consiste la diferencia entre soldadura blanda y fuerte, pegado y soldadura?
29. Explicar las diferencias entre las fases mojado, fluencia, aglomeración de la soldadura blanda y fuerte.
30. Citar las condiciones para una buena unión por soldadura blanda y fuerte.
31. Indicar las principales diferencias entre los metales de aportación para una soldadura blanda y una soldadura fuerte.
32. ¿Para qué sirven los fundentes?
33. ¿Por qué hay que limpiar de restos de fundente los puntos de unión por soldadura blanda y fuerte?
34. Indicar los defectos de la soldadura blanda y fuerte y sus causas.
35. Indicar las diferencias entre unión a tope, unión en T y unión a solape.
36. ¿Cómo se explica la escasa resistencia de la unión por soldadura blanda comparada con la de la soldadura fuerte?

Unión por soldadura

Fundamentos

37. ¿Qué se entiende por «soldar»?
38. ¿Qué criterios sirven para la subdivisión de los procedimientos de soldadura?
39. Razonar los cambios de resistencia del material en la zona de soldadura.
40. Exponer las propiedades importantes del oxígeno y del acetileno.
41. Explicar el objeto de la masa porosa contenida en las botellas de acetileno.
42. ¿Por qué se prefiere el acetileno como gas combustible para la soldadura?

43. No deben confundirse las conexiones para el gas combustible y para el oxígeno. ¿Cómo se evita la confusión?
44. Explicar cómo funciona la válvula reductora de presión para el oxígeno.
45. ¿Por qué no se debe engrasar con grasa o aceite las uniones roscadas de las botellas de oxígeno?
46. Explicar el principio del inyector en el soplete de soldar.
47. Indicar la secuencia de trabajo para el encendido y regulación de la llama del soplete y razonar la forma de proceder.
48. Explicar zonas y temperaturas de la llama del soplete.
49. Comparar los métodos de soldadura a izquierdas y a derechas.

Soldadura por fusión

50. Explicar el circuito eléctrico en la soldadura al arco.
51. ¿Cómo se explica la elevada temperatura de soldadura obtenida con el arco?
52. ¿Qué función tiene el revestimiento de un electrodo?
53. Explicar las fases de la fusión de un electrodo.
54. ¿Qué factores influyen en la penetración?
55. Explicar las reglas de trabajo para el proceso de soldadura.
56. Explicar el «soplado» de un arco voltaico. Citar las medidas que hay que adoptar para evitarlo.
57. ¿Con qué tipo de corriente se puede soldar y qué dispositivos se necesitan en cada caso?
58. Explicar el principio de funcionamiento de un transformador.
59. Comparar la soldadura al arco, a mano y la soldadura con gas protector.
60. Comparar los gases protectores inertes y activos.
61. Indicar las diferencias entre los procedimientos de soldadura WIG, MIG y MAG.
62. ¿Qué ventajas tiene la soldadura WIG?
63. Explicar en qué consiste un arco de plasma.

Soldadura a presión

64. Explicar la expresión «soldadura por resistencia».
65. Citar algunos ejemplos de aplicación de la soldadura por resistencia.
66. Comparar las soldaduras por puntos y por roldanas o rodillos.
67. Explicar la soldadura a tope por chispas.

Soldadura de plásticos

68. Citar cuatro procedimientos para soldar plásticos.
69. ¿Qué tienen en común todos los procedimientos para soldar plásticos?
70. ¿Cómo pueden soldarse entre sí los tubos de plástico?
71. Hay que realizar los siguientes trabajos de soldadura: baldosas de solado, grieta en un cubo, unir láminas de plástico con junta estanca. ¿Qué procedimientos habría que aplicar?

Prevención de accidentes

72. Describir el puesto de trabajo para la soldadura por fusión a gas.
73. ¿Pueden estar en posición horizontal las botellas de acetileno mientras se está soldando? Explicarlo.
74. Explicar los fundamentos más importantes de la prevención de accidentes en la soldadura eléctrica:
    a) peligros debidos a la corriente eléctrica,
    b) peligros debidos a las radiaciones,
    c) peligros debidos a los gases y vapores,
    d) peligros debidos a las quemaduras.



Figura 3-631. Textura del acero sin templar con menos de 0,83% de carbono, formada por ferrita y perlita.

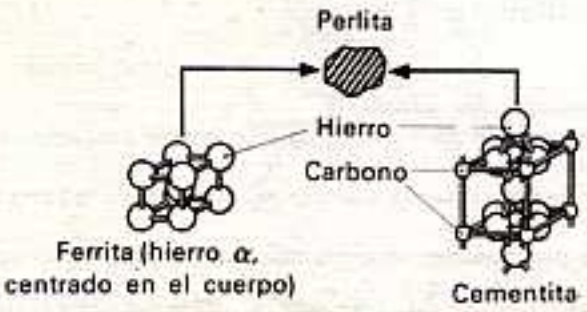


Figura 3-632. La perlita está formada por cristales de ferrita y de cementita.

3.14 Modificación de las propiedades de los materiales

3.14.1 Procedimientos de tratamiento térmico

MODIFICACIÓN DE LA TEXTURA DEL ACERO POR CALENTAMIENTO

Calentamiento del acero hasta 723°C

Ferrita — Cementita — Perlita

Las propiedades del acero como material quedan determinadas principalmente por el carbono.

Es acero toda la aleación de hierro que no sea hierro bruto o hierro colado. La textura del acero está formada por cristalitas (ver pág. 41). Hasta su calentamiento a 723°C son posibles los siguientes componentes de la textura:

Las partículas de hierro puro forman cristales cúbicos (hierro α). Cada cristal está formado por nueve iones de hierro y electrones libres. Los cristales forman granos de ferrita.

El hierro y el carbono forman cristales de carburo de hierro (Fe_3C). Cuanto más carbono contenga el acero, mayor será la proporción de Fe_3C en la textura. En tecnología, el carburo de hierro se denomina cementita.

Los cristales de ferrita y los cristales de cementita forman un conglomerado (mezcla de cristales) que, en muchos casos, aparece en forma de bandas. Este conglomerado se denomina perlita.

Componentes de la textura

Al aumentar el contenido de carbono, en la textura del acero se

encuentran cristales puros de ferrita y un conglomerado de cristales de ferrita y cementita, que es la perlita.

Con un 0,83 por ciento en masa de carbono, todos los cristales de ferrita se han mezclado con cristales de cementita. Se habla entonces de una composición eutectoide que tiene la temperatura de transformación más baja de todas las aleaciones de hierro y carbono. Tiene una textura finamente rayada que, lo mismo que la madreperla, está formada de laminillas finísimamente superpuestas. Se alternan una capa de cristales de hierro con una capa de cristales de carburo de hierro. Esta textura se denomina perlita.

En una textura con más del 0,83% de C, existen cristales sobrantes de carburo de hierro que no encuentran cristales de hierro para la formación de granos de perlita. Entonces se acumulan en forma de cáscara alrededor de los granos de perlita y se denominan carburo de cáscara. La textura está formada por perlita y cementita. Al aumentar el contenido de C, estas cáscaras o coquillas de carburo de hierro se hacen cada vez más gruesas y alcanzan su máximo espesor para un 2,06% de C. De esta manera, según el contenido de carbono, se distingue entre un acero subeutectoide (ferrita y perlita), con menos del 0,83% de C, un acero eutectoide (perlita) con un 0,83% de C y un acero supereutectoide (perlita y cementita) con más del 0,83% de C.

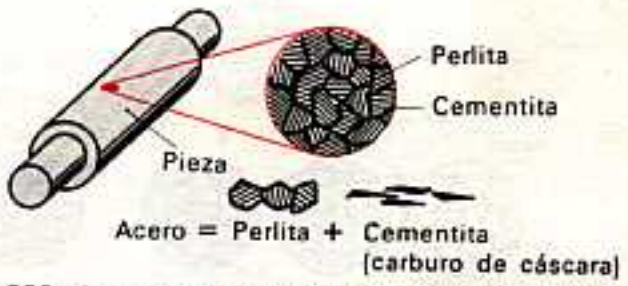


Figura 3-633. La textura del acero con más de 0,83% de carbono, sin templar, está formada por perlita y cementita.



Figura 3-634. Componentes parciales de la textura del acero.

Calentamiento del acero por encima de los 723°C

Al calentar un acero por encima de los 723°C, se produce una modificación de su textura. Los átomos de carbono se desprenden de los cristales de carburo de hierro y se distribuyen uniformemente entre todos los cristales.

Al mismo tiempo se modifica la forma de la retícula cristalina que se hace cúbica centrada en las caras con 14 iones hierro. Esta textura con «solución sólida» se denomina *austenita*. Si se sigue calentando, los granos cristalinos se hacen cada vez más gruesos.

Distintas formas de la textura

Si se tiene una textura perlítica pura con 0,83% de C, al calentar a la temperatura de 723°C todos los granos se convierten en textura de austenita. Si el contenido de carbono es inferior a 0,83%, sólo se convierte en austenita la parte de perlita. La parte de ferrita permanece al principio en la textura como cristales de hierro. Se tiene así una mezcla de austenita y ferrita.

Si el contenido de carbono es superior al 0,83%, en torno a los cristales se han formado cáscaras duras de carburo de hierro. La textura está formada por una mezcla de austenita y cementita. Los granos no se transforman en austenita más que a temperaturas más elevadas, por encima de la línea GSE del diagrama hierro-carbono (ver página 287). En este intervalo de temperatura, el acero está formado por una textura uniforme de cristales mixtos. Es resistente a la corrosión, blando y no magnético, pero al enfriarse, se forman otros componentes de la textura.

Reconversión por enfriamiento lento

Si el enfriamiento es lento, vuelve a formarse la textura primitiva. En la línea GSK, de los cristales centrados en las caras se forman cristales centrados en el cuerpo. En función del contenido de carbono puede tratarse de granos de ferrita, de granos de perlita o de granos de cementita. Por debajo de los 723°C todos los átomos de carbono se han desprendido de la textura cristalina con centrado en las caras de la austenita.

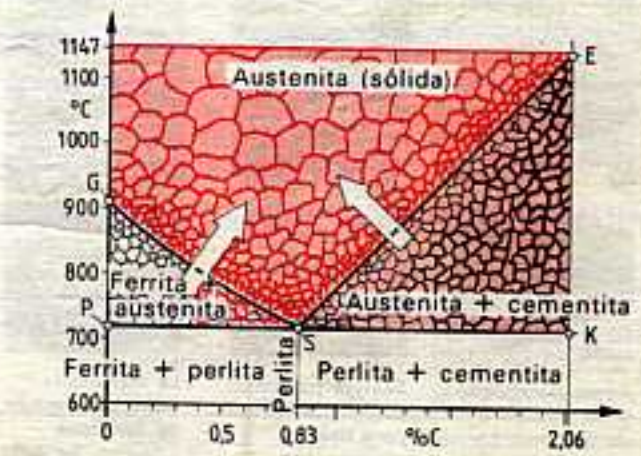


Figura 3-635. Calentamiento de la textura del acero por encima de 723°C en el diagrama hierro-carbono.

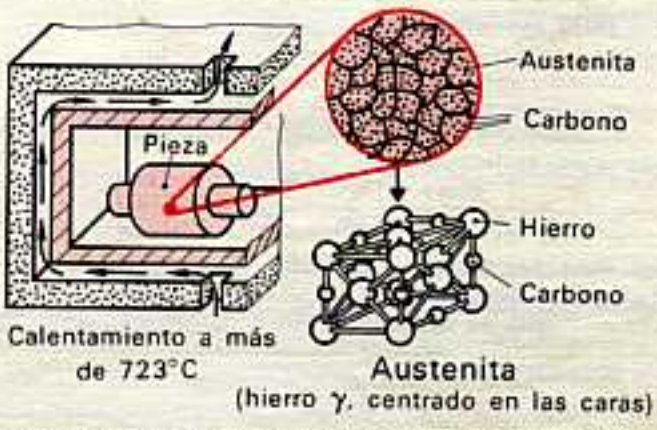


Figura 3-636. Textura perlítica del acero que se convierte en austenita al calentarlo por encima de los 723°C.

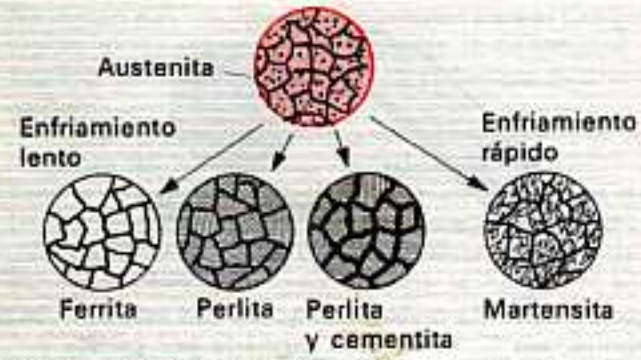


Figura 3-637. Retransformación de la textura austenítica.

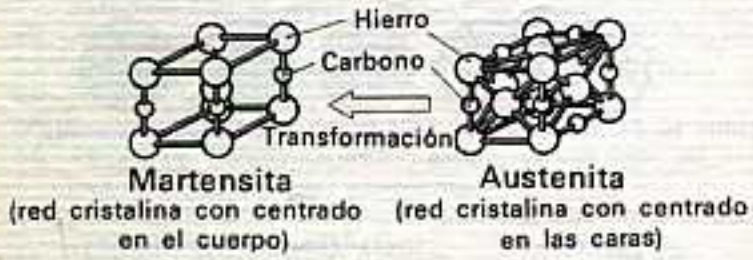
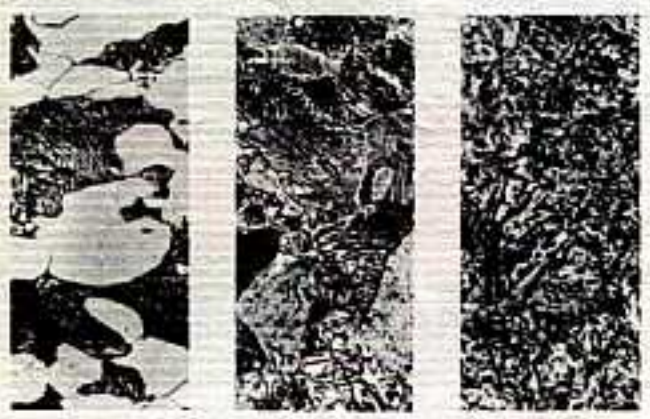


Figura 3-638. Transformación de la textura austenítica en textura martensítica.



Acero bonificado C 45 con 0,45% de carbono. La textura básica está formada por ferrita y perlita uniformemente distribuidas

Textura perlítica pura de un acero para herramientas con 0,83% de carbono

La martensita tiene una textura de finísimas acículas. Se trata de hierro α con inclusiones de carbono

Figura 3-639. Microfotografías de la textura (400 aumentos).

Reconversión por enfriamiento rápido

Si el enfriamiento es rápido se impide la formación de perlita. Ciertamente, se produce un reabatimiento de la centrada en las caras a la centrada en cuerpo, pero los átomos de carbono quedan retenidos en su sitio, el que habían tomado en la austenita. Sin embargo, como la red cristalina α centrada en el cuerpo es más pequeña que la γ centrada en las caras, se deforma y se tensa a causa del carbono forzado a permanecer en ellas. La consecuencia es una textura dura, quebradiza y aciculada que se denomina martensita. El resultado es un acero endurecido, templado.

TEMPLE

Gracias a la modificación de las propiedades del material, con un acero fácilmente mecanizable se pueden fabricar piezas duras y resistentes al desgaste.

Se denomina temple a la austenitización, es decir, a calentar el acero a la temperatura de temple y enfriarlo luego con rapidez.

Por medio del temple se consiguen durezas cuya cuantía depende de la del contenido de carbono.

El **temple** consiste en calentar al rojo y enfriar rápidamente. El calentamiento de la pieza por encima de la línea GSK produce una textura austenítica uniforme (austenitización). El enfriamiento se hace a gran velocidad con lo que se consigue una transformación de la textura aunque manteniéndose el carbono en la red cristalina (formación de martensita).

La dureza del material depende esencialmente del contenido de carbono o de que hayan podido formarse suficientemente o no granos de martensita duros y quebradizos. Los granos de ferrita son muy blandos, los granos de perlita con el 0,83% de C son semiduros y poco tenaces y los granos de cementita muy duros.

Instalaciones para el calentamiento

Se utilizan hornos de templar u hornos de baño de fusión (baños de sales en fusión) con exacta regulación de la temperatura.

Los hornos de baño de fusión tienen la ventaja de que no recalientan las piezas de paredes delgadas.

Enfriamiento brusco

Al eliminar rápidamente el calor, se forman cristales duros de martensita. Esto no ocurre más que a partir de la «velocidad crítica de enfriamiento brusco». El «punto martensítico» es aquella temperatura para la cual comienza la transformación en las condiciones dadas.

El agua fría tiene un intenso efecto de enfriamiento; el agua caliente enfría con más suavidad. Ambas son apropiadas para los aceros al carbono.

El aceite templa tanto más suavemente cuanto más espeso es: apropiado sólo para aceros de baja aleación. El aire es el que enfría con más lentitud: apropiado para aceros de alta aleación. Mediante una congelación intensa (−75°C a −180°C) se logra la transformación de otro 7% u 8% de la austenita residual que, en otros casos, es del 10% al 20%.

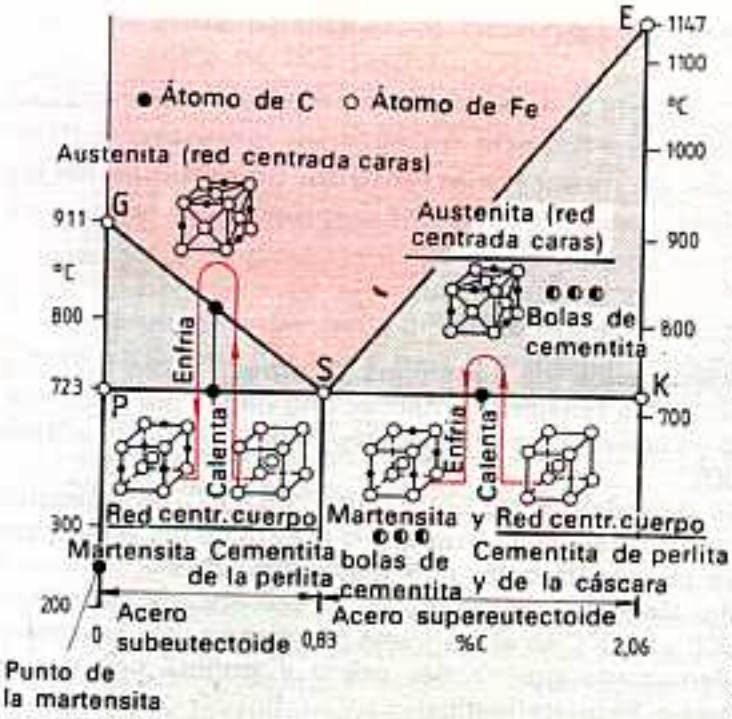


Figura 3-640. Proceso de temple en el diagrama hierro-carbono.



Influencia de la velocidad de enfriamiento sobre la textura de un acero eutectoide (no aleado, 0,83% C)

Revenido

Revenir es calentar a temperaturas menores una pieza templada y a continuación enfriada.

La estructura uniforme de la martensita se logra forzadamente por el enfriamiento brusco y como estado forzado es poco estable. Con muy poco calentamiento se descompone en ferrita y perlita y, si el contenido de carbono es mayor, en perlita y cementita.

Por medio del revenido se pretende hacer al acero más tenaz a costa de su dureza.

Con el temple aumenta la resistencia, pero también la fragilidad del acero. Con el posterior calentamiento 200°C y 360°C, se pierde la mayor parte de la fragilidad y también parte de la dureza, aumentándose la tenacidad. Cuanto más elevada es la temperatura de revenido, menor es la dureza remanente, pero mayor la tenacidad alcanzada.

Al aumentar la temperatura de revenido disminuyen la dureza, la resistencia a la tracción y el límite de fluencia de un acero templado, mientras que aumentan el alargamiento y la resistencia de resiliencia.

Para controlar la temperatura de revenido hay que observar los colores que toma la pieza pulida (colores de oxidación). Cuando se alcanza el color deseado se debe enfriar inmediatamente (colores de revenido, ver tabla de la página 101).

En el **revenido del exterior al interior**, la pieza se calienta en un horno o con la llama de un soplete.

En el **revenido del interior al exterior**, el calentamiento se produce por el calor remanente de la pieza. Para ello, al efectuar el temple se enfría bruscamente una parte de la pieza, por ejemplo, el filo de un cincel. El mango del cincel conserva aún el calor suficiente para calentar el filo hasta la temperatura de revenido.

Grado de dureza	Color	Temperatura	Aplicación
muy duro	blanco-amarillento	200 °C	Instrumentos de medida, Cuchillas para cortar papel
	amarillo pajizo	220 °C	Escariadoras, fresas, sierras para metales
	amarillo oro	230 °C	Puntas trazadoras
	pardo-amarillento	240 °C	Herramientas para tallado de roscas, pivotes y gorrones
duro	rojo	260 °C	Brocas, herramientas para punzonar, martillos.
	rojo púrpura	270 °C	Cinceles
duro tenaz	violeta	280 °C	Formones, cortafríos fresas para madera
	azul obscuro	290 °C	Escoplos de cantería, muelles
	azul claro	320 °C	Destornilladores, Cuchillos para carnicería
	azul-grisáceo	340 °C	Hachas, azuelas
	gris	360 °C	Estampas para forja, herramientas para forjar en frío

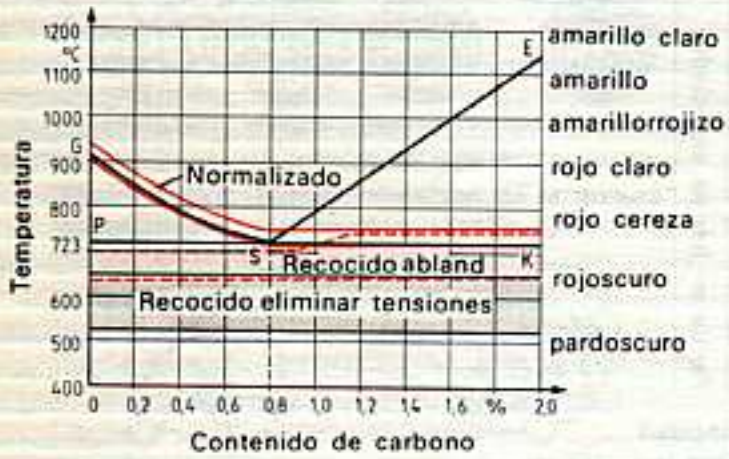


Figura 3-641. Intervalos de temperatura de los procedimientos de recocido más importantes para los aceros al carbono.

RECOCIDO DEL ACERO

Recocer es calentar una pieza hasta una temperatura determinada y mantenerla en esta temperatura enfriándola después, en general con lentitud. Se eliminan así las tensiones internas y las solidificaciones de la textura no deseadas.

Diversos métodos de recocido

Recocido de eliminación de tensiones internas: Entre 500°C y 600°C, se eliminan las tensiones internas originadas por la conformación en frío o en caliente (colores de recocido: ver tabla de colores en la página 00).

Recocido de ablandamiento: Entre 680°C y 820°C (en los aceros aleados, temperatura más alta) se reduce la dureza de los aceros, por lo que éstos se pueden trabajar con mayor facilidad.

Normalizado: Según el contenido de C, por encima de la línea GSK, entre 850°C y 950°C en el diagrama hierro-carbono, se elimina la estructura demasiado gruesa del grano y origina una nueva, uniforme, de grano fino («refinado»).

BONIFICADO DEL ACERO

El bonificado es un tratamiento térmico para conseguir mayor tenacidad con una determinada resistencia a la tracción mediante un temple y subsiguiente revenido, en general a alta temperatura (500°C a 650°C).

Se trata de un tratamiento térmico compuesto para conseguir mayor tenacidad. Se utilizan los aceros según la Norma DIN 17200 con 0,25 a 0,6% de C. Se caracterizan por su gran pureza. Los aceros aleados se bonifican con más frecuencia que los aceros al carbono.

Ante todo, las piezas se someten a un recocido normal (750 a 1000°C), luego se templan y se revienen. De esta manera se reduce, ciertamente, la dureza, pero la resistencia a la tracción aumenta hasta 1000 N/mm² en los aceros al C y hasta 1400 N/mm² en los aceros aleados. Se utiliza para piezas de máquinas sometidas a solicitaciones muy fuertes.

TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS METALES LIGEROS

En las aleaciones de aluminio hay que distinguir entre las aleaciones que no pueden templarse, cuyas propiedades de resistencia no pueden aumentarse por medio de los tratamientos térmicos, y las aleaciones de aluminio que pueden templarse, cuyas propiedades de resistencia se aumentan por el temple.

Temple

Determinadas aleaciones de aluminio, por ejemplo ALCuMg o AlMgSi se someten a un tratamiento térmico para aumentar su resistencia y su dureza. Esta mejora de las propiedades, sólo es posible si las aleaciones contienen aditivos endurecedores, por ejemplo, Cu, Mg, Ni. El tratamiento se desarrolla en tres fases:

1. **Calentamiento** al rojo, que según el tipo de aleación consiste en

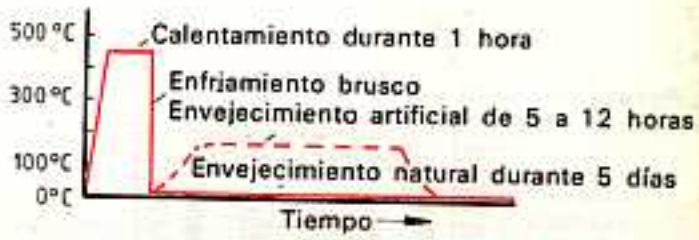
dejar la pieza durante varias horas a 500°C para disolver los componentes de la aleación.
2. **Enfriamiento brusco**, rápido y completo con agua.
3. **Almacenamiento** (envejecimiento). El **almacenamiento en frío** es un proceso de endurecimiento que se desarrolla a la temperatura ambiente en unas horas (como máximo, cinco días). Como los cambios de textura en el material no se manifiestan inmediatamente, como en el acero, las piezas pueden mecanizarse inmediatamente después del enfriamiento. El proceso de endurecimiento puede interrumpirse, después del enfriamiento brusco, mediante enfriamiento a baja temperatura (*−20*°C).

Una vez sacadas las piezas de la sala frigorífica tienen que mecanizarse en el plazo de dos horas.

El **almacenamiento en caliente** se hace a unos 170°C durante unas doce horas (envejecimiento artificial).

Recocido de ablandamiento

El calentamiento a 350°C con subsiguiente enfriamiento al aire o en agua produce una disminución de la dureza y de la resistencia, pero aumenta el alargamiento. El recocido de ablandamiento es necesario después de la conformación en frío (laminado, embutición, prensado).



Denominación de la aleación	Sin endurecimiento Resistencia en N/mm²	Endurecida
G-AlSiMg	150...190	260...310
G-AlCuNi	200...220	230...270

Figura 3-642. Temple de las aleaciones de aluminio.

TEMPLE EN CAPAS DE UNA PIEZA

El temple en capas de una pieza consiste en el temple limitado a la capa exterior manteniendo la tenacidad del núcleo.

En las piezas de las máquinas como engranajes, rodillos y cilindros, la capa superficial está sometida a desgaste por los movimientos de rodadura o de deslizamiento. Por esta razón, las capas exteriores deben tener una gran dureza, mientras que el núcleo de la pieza debe conservar su tenacidad.

Temple en capas sin tratamiento previo

En el calentamiento sólo la capa exterior de la pieza alcanza la temperatura de temple. Con el enfriamiento rápido subsiguiente, en la capa exterior se forma una textura martensítica. La condición necesaria es que se trate de un acero susceptible de temple, con más del 0,3% de C en masa.

Temple a la llama (flameado): Se utiliza en piezas voluminosas y en el temple de partes de una pieza. El calentamiento de la capa exterior se consigue con una llama de gas. La profundidad del temple alcanza de 0,5 a 10 mm y puede regularse por medio de la temperatura de la llama y la duración del calentamiento.

En el **temple por inducción** se crea un campo magnético alterno aplicando una tensión alterna a una bobina; este campo induce en la pieza corrientes parásitas (corrientes de Foucault). Estas corrientes producen un rápido aumento de la temperatura en la capa exterior de la pieza que se quiere templar. El procedimiento se utiliza preferentemente para piezas previamente bonificadas. La profundidad de temple varía de 0,2 a 50 mm. Las ventajas del procedimiento son: gran amplitud de variación de la profundidad del temple, escasa deformación y que no se sobrecalienta la capa exterior.

Temple por capas con tratamiento previo

En los aceros con menos del 0,3% en masa de carbono, la transfor-

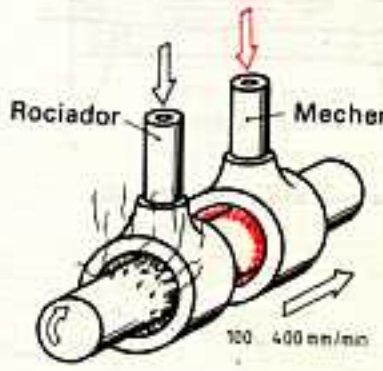
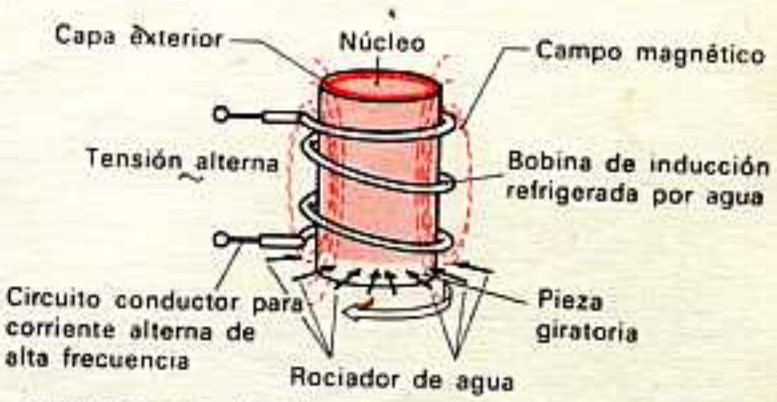


Figura 3-643. Temple a la llama (flameado), caso de endurecimiento anular para un eje.



El temple por inducción y a la llama es un endurecimiento limitado a las capas externas de una pieza

Figura 3-644. Calentamiento por inducción.

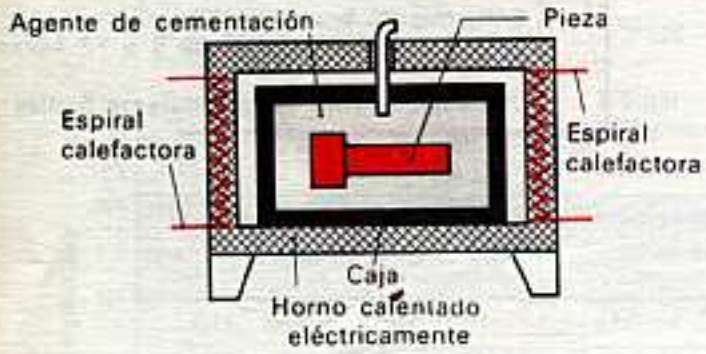


Figura 3-645. Cementación.

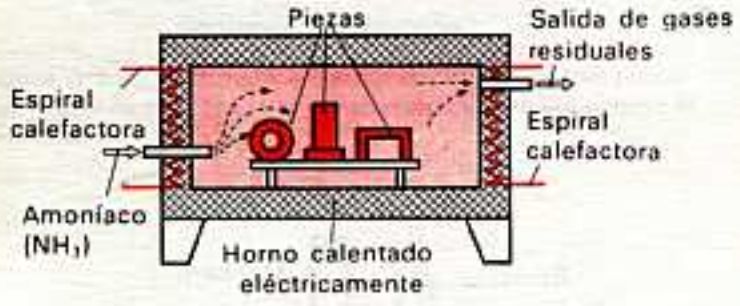


Figura 3-646. Nitruración.

mación en martensita no produce ningún aumento notable de la dureza. Con ayuda del carbono que penetra por difusión se consigue, sin embargo, carburar suficientemente la capa exterior de las piezas. El procedimiento se denomina **endurecimiento por cementación.**

Se denomina cementación a la carburación de las piezas con un tratamiento térmico ulterior que produce su endurecimiento.

Las capas exteriores se enriquecen con carbono (carburación) o con carbono y nitrógeno (carbonitruración). Esto se consigue a temperaturas entre 860°C y 930°C con agentes de carburación sólidos, como el carbón vegetal o el negro de humo, con agentes líquidos, como los cianuros potásico o sódico, o con gases como el gas de la red o el metano. La profundidad de cementación varía entre 0,01 y 5 mm. Por medio de un enfriamiento brusco ulterior se consigue el temple (formación de martensita) de la capa exterior carburada. Es ventajoso que la profundidad de cementación sea uniforme, independientemente de la forma de la pieza.

Temple por nitruración

Se denomina nitruración al enriquecimiento o saturación de la zona superficial de los aceros con nitrógeno.

Las piezas, calentadas a una temperatura de unos 550°C, se someten a la acción de una corriente de gas que contenga nitrógeno (NH_3 = amoníaco). El temple se produce directamente por el nitrógeno que penetra, sin ningún tratamiento térmico ulterior y gracias a la formación de nitruros de gran dureza y resistencia a la abrasión (endurecimiento). Como aceros de nitruración se utilizan los aceros aleados con aluminio, cromo o vanadio, porque estos metales de aleación favorecen la penetración (difusión) del nitrógeno. Ventajas: gran dureza y gran resistencia a la abrasión, la dureza se mantiene hasta los 500°C, no se producen deformaciones, se mejora la resistencia a la corrosión, la pieza se puede mecanizar totalmente antes de la nitruración.

Aceros apropiados para el temple por capas

Aceros para temple a la llama y por inducción DIN 17212. Ejemplos

(Propiedades garantizadas en estado bonificado)

Clase de acero Denominación abreviada	Número del material	Dureza en las zonas templadas por capas, HRC	Resistencia a la tracción[1] N/mm²
Cf 35	1.1183	51	620... 760
Cf 45	1.1193	55	700... 840
Cf 70	1.1249	60	740... 880
38 Cr 4	1.7043	53	930...1130
41 CrMo 4	1.7223	54	1080...1270

[1] Según el diámetro (pequeño ⌀ = alta resistencia y viceversa).

Los aceros se caracterizan porque se pueden templar en la zona exterior, cuando se encuentran en estado bonificado, mediante calentamiento local y enfriamiento brusco, sin que se modifiquen sensiblemente las propiedades de resistencia y tenacidad del núcleo. Son aceros finos no aleados y aleados.

Aceros para temple por nitruración, DIN 17211. Ejemplos

Clase de acero Denominación abreviada	Número del material	Nitrurado (dureza en la superficie) HV	Resistencia a la tracción[1] (bonificados) N/mm²
39 CrMoV 13 9	1.8523	800	1300...1500
34 CrAlMo 5	1.8507	950	800...1000
41 CrAlMo 7	1.8509	950	850...1150

[1] Según el diámetro (ϕ pequeño = alta resistencia y viceversa).

Los aceros nitrurados contienen elementos formadores de nitruros, por ejemplo, aluminio, cromo o vanadio. Se trata de elementos de aleación contenidos en el hierro que se combinan con el nitrógeno, por lo que éste se disuelve en la masa principal o se segrega en forma de nitruros.

Aceros para cementación DIN 17210. Ejemplos
(Propiedades garantizadas)

Clase de acero Denominación abreviada	Número del material	Dureza (tratamiento térmico para textura ferrito-perlítica) HB 30	Resistencia a la tracción[1] N/mm²
Aceros de calidad			
C 10	1.0301	90...126	650... 800
C 15	1.0401	103...140	750... 900
Aceros finos			
Ck 10	1.1121	90...126	650... 800
Ck 15	1.1141	103...140	750... 900
16 MnCr 5	1.7131	140...187	1100...1400
18 CrNi 8	1.5920	170...217	1250...1500

[1] Según el diámetro (ϕ pequeño = alta resistencia y viceversa).

Se trata de aceros de construcción con relativamente bajo contenido de carbono, que pueden carburarse en la superficie. Los aceros finos se distinguen de los aceros de calidad no sólo por el bajo contenido de fósforo y azufre, sino también por la uniformidad de sus propiedades.

Ejercicios

Modificación de las propiedades de los materiales

1. Explicar las texturas de los aceros con un 0,2% de C, un 0,83% de C y un 1,5% de C a temperatura inferior a 723°C.
2. ¿Qué propiedades tienen la ferrita, la perlita y la cementita?
3. ¿Cómo se explica la dureza del acero al aumentar el contenido de carbono?
4. ¿Qué textura presenta el acero con 1,3% C si se calienta a unos 800°C y a unos 1 000°C?

5. Un acero con el 0,6% de C se enfría lentamente desde los 900°C. Explicar los cambios de la textura.
6. Hay que templar un acero con el 0,7% de C. Explicar el proceso de temple y dar las razones de su dureza.
7. Describir el aspecto de la textura martensítica.
8. ¿Por qué en el temple la pieza se calienta unos 50 grados por encima de la línea GSK?
9. ¿Qué consecuencias tiene en el temple un calentamiento superficial y demasiado rápido?
10. Explicar las diferencias entre el temple al agua, al aceite y al aire.
11. Describir el revenido de una pieza que tenga espesores distintos.
12. ¿Cuándo hay que pulir la pieza antes del revenido?
13. ¿Cuándo hay que aplicar al acero un recocido para eliminar tensiones internas, cuándo un recocido de ablandamiento y cuándo uno normalizado?
14. Hay que someter a un recocido normal un acero con el 0,7% de C. Determinar el intervalo de temperaturas.
15. ¿Cuál es el objeto del bonificado del acero?
16. Explicar el objeto del temple de los metales ligeros y su proceso.
17. ¿Cuándo se someten los metales ligeros a un recocido de ablandamiento?
18. ¿Cuáles son las ventajas del temple por capas en comparación con el temple profundo?
19. Para el acero C 20 es apropiada la cementación, para el acero 34CrNiAl 84 lo es la nitruración. Razonar por qué.
20. Comparar el temple a la llama con el temple por inducción.
21. En un taller se espolvorean con polvos endurecedores (cianuro potásico) los bulones o las cabezas de los tornillos calientes, se calientan y se enfrían bruscamente en agua. Explicar este método de temple.
22. ¿Qué ventajas especiales tiene el endurecimiento por nitruración?

4 Técnica de control

4.1 Automatización de la fabricación

4.1.1 Control y regulación

GENERALIDADES

Se entiende por automatización la regulación y control automáticos de máquinas e instalaciones.

Los fines de la automatización son: mayor precisión de trabajo y seguridad de funcionamiento, y acortamiento de los tiempos de fabricación respecto de las máquinas controladas manualmente. Los ciclos de trabajo se controlan y regulan mediante dispositivos especiales de las máquinas.

Control

Se habla de control, o mando, cuando mediante un impulso se comienza, concluye o influye de cualquier otro modo en un ciclo de trabajo. En el caso de un control de horario el generador de impulsos es por ejemplo un reloj. Por medio de un distribudor puede aprovecharse este impulso para realizar procesos de conmutación en puntos diferentes de la instalación. En la figura 4-1 se expone como ejemplo el accionamiento de un interruptor que conecta un motor eléctrico. Los componentes de un sistema de control dispuestos en serie reciben el nombre de **cadena de control** o bucle abierto.

Descripción general de los componentes de una cadena de control según la norma DIN 19 226:

Elementos de señal que entregan señales o bien impulsos cuando se dan magnitudes físicas determinadas (tiempo, temperatura, fuerza, magnitud de medición, alteración de forma y otras).

Elementos de control que enlazan diferentes señales o pasa una señal a diferentes elementos de ajuste según leyes determinadas.

Elementos de ajuste que controlan el flujo de energía que va a los **elementos de accionamiento** que modifican el estado existente.

Regulación

Durante la regulación se retroalimenta el informe de la modificación efectuada mediante el control al componente que origina esta modificación. En la figura contigua el flotador informa sobre la altura del nivel del agua a la válvula, que se abre o cierra en función de dicho nivel. Modificándose la magnitud guía puede ajustarse el nivel de agua deseado. En los procesos de regulación se haba de **circuitos de regulación** o bucle cerrado a causa de la retroalimentación.

La técnica de regulación es el progreso esencial en automatización. Debido a la constante retroalimentación del estado real (altura del nivel del agua) se sigue regulando hasta que se logra el estado deseado (estado teórico=altura deseada del nivel del agua).

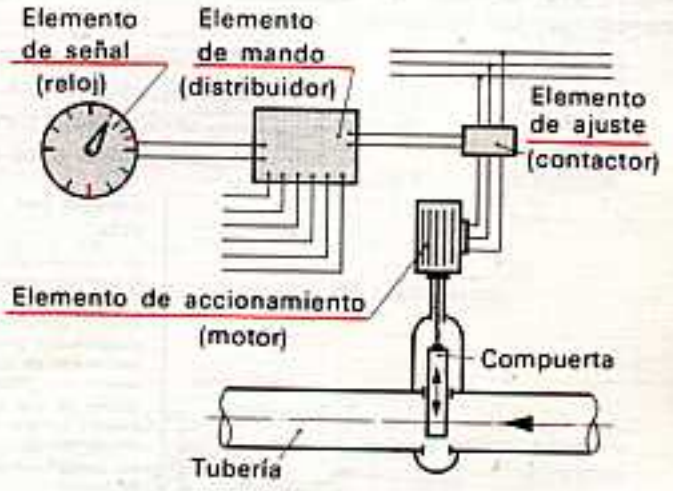


Figura 4-1. Instalación de control.

Secciones del control

El. de señal	El. mando	El. ajuste	El. accionam
Reloj	Distribuidor	Contactor	Motor
Int. de presión	Válvulas	Acoplam.	Cilindro +
Topes, levas	Dist. barras	Acoplam.	émbolo
Palador límite			Motor

Figura 4-2. Cadena de control (designaciones de los aparatos que la integran).

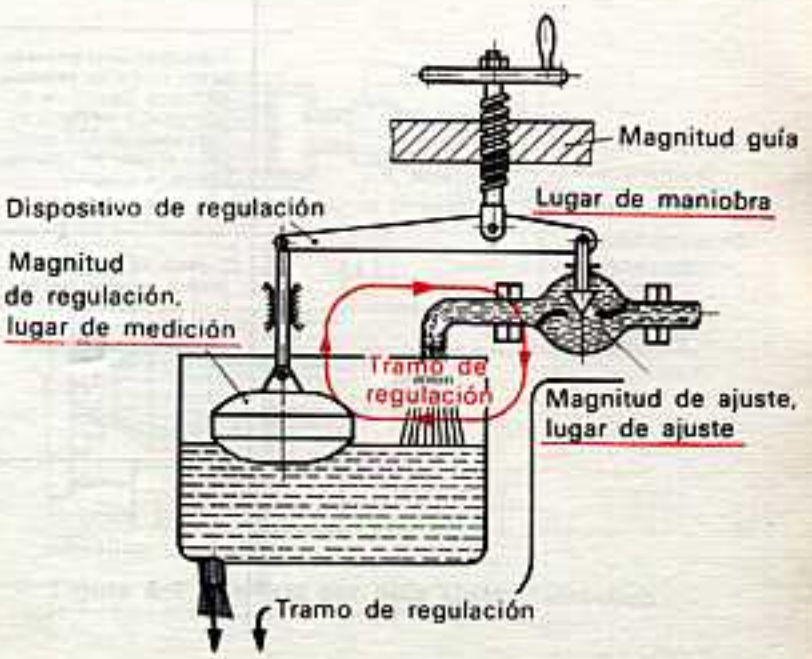


Figura 4-3. Instalación de regulación.



Figura 4-4. Circuito de regulación (designación de elementos por sus funciones).

Con ayuda de los dispositivos de control y regulación pueden automatizarse procesos de mecanización, de tal manera que muchas máquinas-herramienta independientes dispuestas una tras otra, mecanicen una pieza, por ejemplo el bloque de un motor, en varios cientos de operaciones de trabajo. La mayoría de las operaciones se controlan y algunas importantes se regulan. El sencillo proceso de copiado en un torno puede ya considerarse como ciclo de trabajo controlado.

TIPOS DE CONTROL

Cuando la máquina obtiene las instrucciones de fabricación a través de una pieza patrón a la que palpa, se habla de control o mando por guía. Cuando la máquina obtiene las instrucciones de fabricación a través de trasmisores de impulsos intercambiables que pueden agruparse formando un programa, esta automatización recibe el nombre de control por programa.

Tipos, Ejemplos	Control por guía	Control por programa		
	En el control por guía existe siempre, en régimen estable, una clara relación entre el elemento de señal (magnitudes guía) y el elementos de accionamiento (magnitudes de salida) de una cadena de control, aunque haya otros elementos intercalados, por ejemplo amplificadores de fuerza. En lo que se refiere a las máquinas-herramienta, el copiado en torno y el copiado en fresadora son ejemplos típicos de control por guía. El palpador y las herramientas están en clara relación.	En muchos casos se introducen en las máquinas ciclos de trabajo sucesivos en forma de programas. Como portadores de programas se emplean discos de levas, tambores de levas, topes limitadores, sistemas hidráulicos y neumáticos, cuadros de distribución eléctricos (denominados distribuidores de coordenadas), cintas perforadas o cintas magnéticas y memorias de ordenador. Según sean los sistemas de elaboración de los programas, se distingue entre programas horarios, programas de recorrido y programas secuenciales.		
		Control horario	**Control por recorrido**	**Control secuencial**
		Se habla de control horario cuando el programa discurre en función del tiempo. Es un caso que apenas se da en las máquinas-herramienta. Este tipo de control ha de emplearse, por ejemplo, en ciclos automáticos de procesos de tratamiento térmico, tales como el recocido, temple y otros, porque estos procesos que hacen variar las propiedades del material, discurren en función del tiempo.	En el control por recorrido la operación de trabajo fijada en el programa no se inicia hasta que un componente determinado de la instalación ha hecho un cierto recorrido, previamente fijado, durante la operación anterior. Se emplea frecuentemente en máquinas-herramienta.	Es un control secuencial el comienzo de la operación de trabajo no tiene lugar hasta que concluye la precedente del modo deseado, por ejemplo, con la precisión necesaria. Actualmente se emplea mucho en máquina-herramienta. Frecuentemente son necesarios dispositivos de regulación para controlar el estado real.
Mecánico	Copiado mediante unión mecánica directa entre palpador y herramienta.	Control de un proceso de recocido o de tratamiento térmico dependiente del tiempo, a través de discos de levas que giran a velocidad constante.	Levas limitadoras de recorrido actúan sobre acoplamientos mecánicos a través de varillajes, por ejemplo, para marcha a derechas o izquierdas y para avance rápido y lento.	
Eléctrico	Copiado en torno o fresadora por medio de sensores eléctricos. Control de la luminosidad mediante un dispositivo de iluminación, sobre el valor de luminosidad de la sala.	Control de una instalación de señales de acuerdo con un horario, y mediante el empleo de un reloj y contactos eléctricos ajustables. (Instalaciones de timbres, anuncios luminosos).	Topes limitadores de recorrido mandan los pasos de programa predeterminados a través de contactos eléctricos.	La herramienta, al volver a su posición de partida provoca el siguiente paso de programa a través de interruptores de fin de carrera y panel de clavijas.
Hidráulico, neumático	Copiado en torno con aparato copiador hidráulico. Los impulsos del palpador se transmiten y amplifican hidráulicamente.	Control de la sucesión de un programa en función del tiempo mediante ajuste del caudal de paso de aceite por medio de válvulas estranguladoras (caja automática con mando hidráulico en automóviles).	Topes limitadores de recorrido accionan válvulas distribuidoras oleohidráulicas o neumáticas que a su vez originan los correspondientes procesos de movimiento.	Un rodillo provisto de levas de cambio avanza y provoca la continuación del programa cuando ha concluido una operación de trabajo.
Numérico		Con ayuda del control numérico pueden mandarse a través de cintas perforadas, tarjetas perforadas, cintas magnéticas o memorias de ordenador, tanto programas dependientes del tiempo y del recorrido como programas secuenciales, es decir, dependientes de un ciclo. La diferencia estriba en la forma en que es provocado el siguiente paso de programa, es decir en función de un dato de tiempo, de un recorrido teórico o de una operación de trabajo realizada.		

CONTROL POR GUÍA

Un caso típico de empleo del control por guía es el copiado. Hay máquinas copiadoras construidas expresamente para este proceso. La herramienta ataca la pieza por arriba o por detrás, con lo cual se consigue que la viruta salga sin impedimento.

Control por guía mecánico

Durante el avance continuo del carro se guía un palpador (elemento transmisor de señal) a lo largo de una plantilla o de una pieza de muestra. Debido a la unión rígida entre el palpador y la herramienta, ésta se ve obligada a describir la misma trayectoria, conformando con ello la pieza correspondientemente a la plantilla. El palpador ha de apretarse contra la plantilla con la fuerza de reacción de la herramienta.

Control por guía eléctrico

También en este caso se mueve el carro a velocidad constante. Cuando el palpador no toca la plantilla, los contactos KI de la caja del palpador están cerrados. A través del relé (elemento de control) y del contactor (elemento de ajuste), se acciona el acoplamiento KI, de manera que el motor mueve el carro portaherramienta hacia la pieza, hasta que el palpador toca la plantilla. Con esto se cierran los contactos KII, y el motor hace retroceder el carro hasta que el palpador se separa de la plantilla.

Control por guía hidráulico

Durante el avance continuo del carro el palpador es guiado en la plantilla. Al encontrar variaciones de forma el palpador, por medio de su palanca angular hace que se desplace el émbolo de la válvula direccional, o distribuidor 4/2. En la página 319 se explica la construcción y funcionamiento de dicha válvula. Esta distribuye la corriente de aceite a presión que viene de la bomba de aceite, bien a la superficie anterior del émbolo o a la posterior, de manera que el carro portaherramienta, con la herramienta, ejecute un movimiento hacia el centro de la pieza de trabajo o apartándose de ésta. Debido a la posición oblícua del dispositivo copiador (generalmente 60°) pueden realizarse chaflanes en el lado izquierdo y superficies planas en el lado derecho. Estos dispositivos copiadores hidráulicos pueden montarse como equipo completo en tornos existentes. Ofrecen la ventaja de una precisión de copiado relativamente alta. En lugar de plantillas pueden también sujetarse entre puntos piezas de muestra (denominadas también frecuentemente piezas patrón) para que sirvan de elemento de señal durante este control. Esto es válido también para el control por guía eléctrico y electrohidráulico.

Control por guía electrohidráulico

En este tipo de instalación la forma de la plantilla se palpa con ayuda de un palpador eléctrico. Los impulsos se amplifican electrónicamente. El electroimán alimentado con esta corriente hace que en fracciones de segundo el distribuidor oleohidráulico ejecute un recorrido de mando suficiente para que se alimente inmediatamente al émbolo hidráulico con una fuerte corriente de aceite. Debido a los cortos tiempos de conmutación, se consigue una precisión de copiado muy alta.

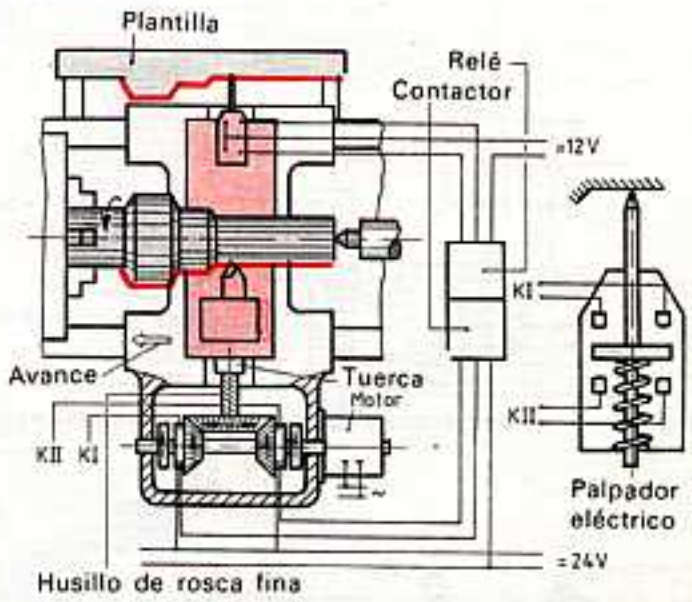


Figura 4-5. Control por guía eléctrico.

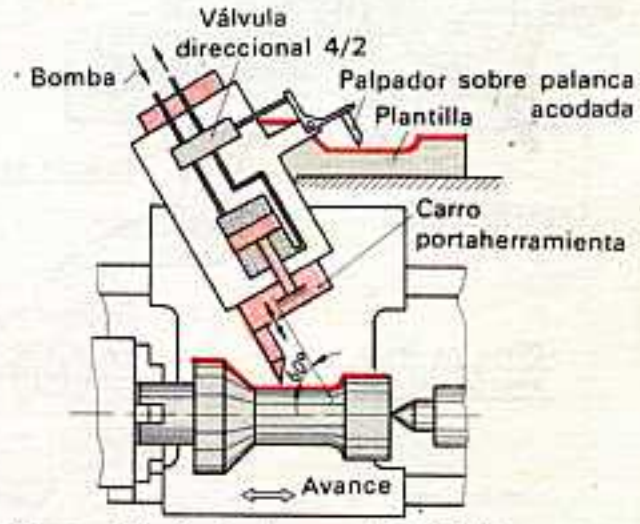


Figura 4-6. Control por guía hidráulico.

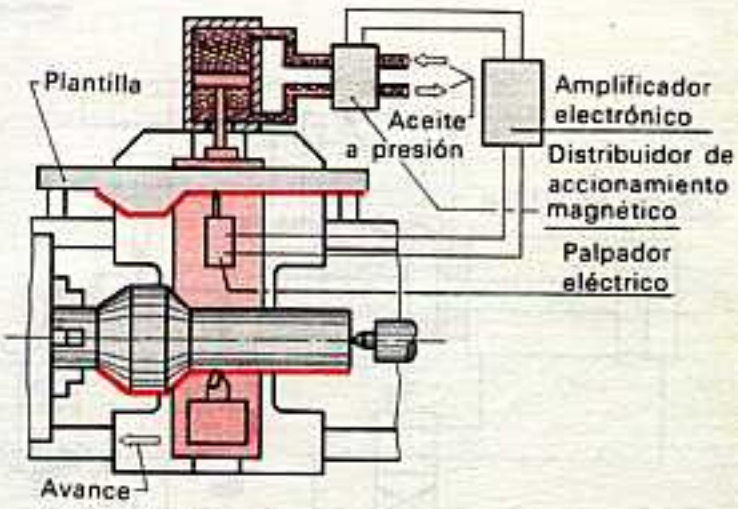


Figura 4-7. Control por guía electrohidráulico.

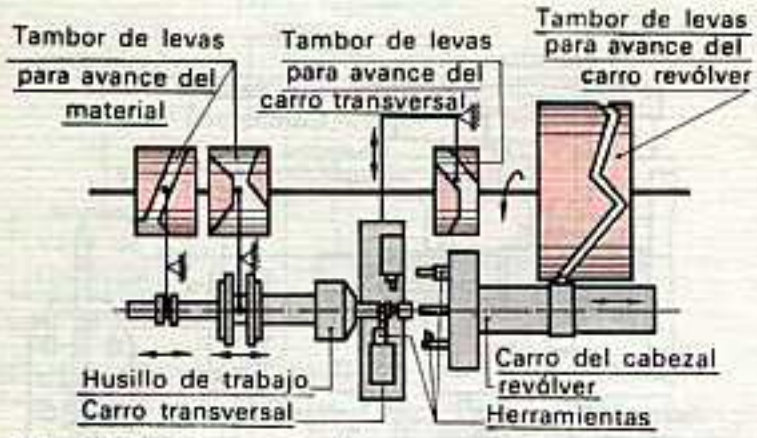


Figura 4-8. Torno automático mandado por tambores de levas

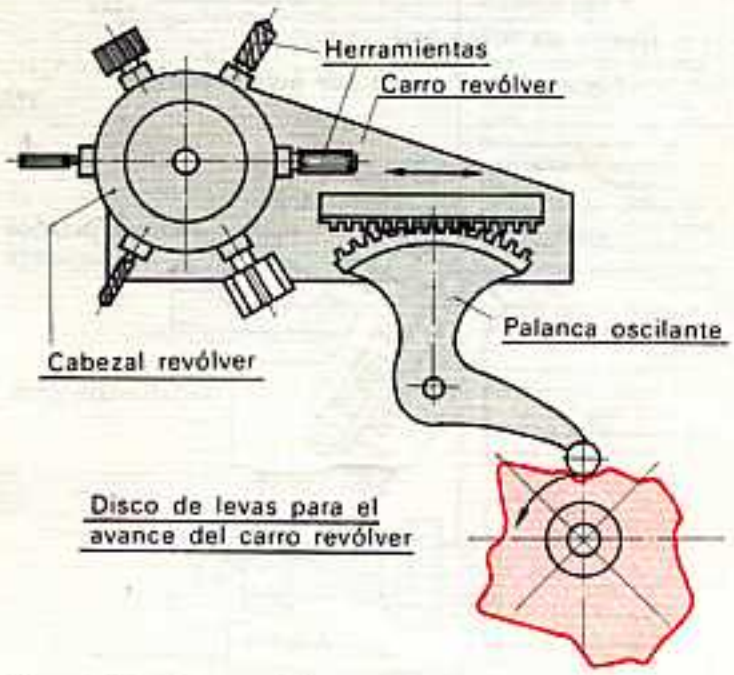


Figura 4-9. Carro revólver mandado por disco de levas en un torno automático.

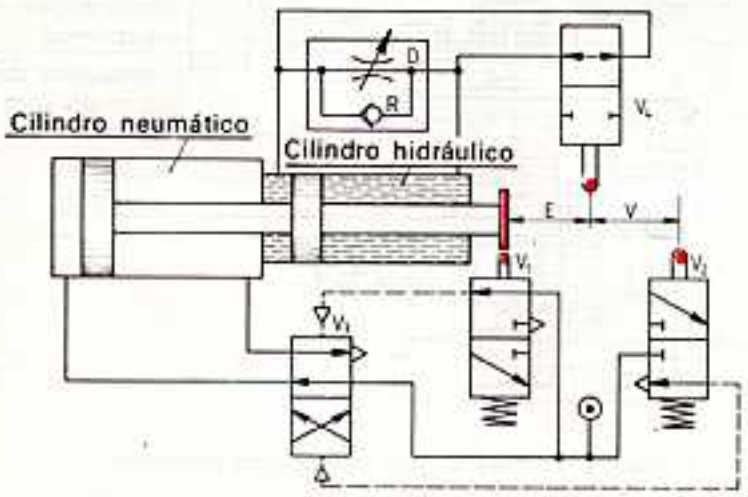


Figura 4-10. Instalación de avance neumática con control de velocidad oleohidráulico.

CONTROL POR PROGRAMA

En los programas están fijados todos los procesos de movimiento (automatismos completos) o sólo partes del ciclo de fabricación total (semiautomatismos o automatismos parciales), conforme al grado de automatización.

Control por programa mecánico

Los tornos completamente automáticos o semiautomáticos se controlan frecuentemente con ayuda de **tambores de levas** o **discos de levas**. En uno o varios portaherramientas, torreta de torno, revólver o cabezal de estrella— están sujetas las herramientas de tornear necesarias para la fabricación, así como escariadores, brocas, avellanadores, brocas de centrar o cabezales roscadores. Los tambores de levas o discos de levas, que giran a velocidad constante, controlan (generalmente por recorrido) la disposición de las herramientas, cambiando o haciendo girar el portaherramientas y moviendo a continuación el carro y el portaherramientas hacia la pieza de trabajo a la velocidad de avance correcta. En los tornos totalmente automáticos, que trabajan generalmente con material en barras, también se ejecutan mediante el control el avance del material, la sujeción y el tronzado. El inconveniente de estas máquinas es el tiempo de preparación, relativamente largo, durante el cual la máquina no produce. Pueden hacer falta varios días para posicionar todas las levas y ajustar con precisión todas las herramientas. Es necesario vigilar constantemente y controlar las medidas de las piezas de trabajo a causa del desgaste de las herramientas. Las máquinas de este tipo sólo son rentables cuando se trata de fabricar un gran número de piezas.

Control por programa hidroneumático

Los controles hidráulicos, neumáticos o combinados se emplean frecuentemente para movimientos de avance, por ejemplo en máquinas rectificadoras, a causa de su suavidad de marcha y su regulabilidad sin escalonamiento. Según la forma de generarse los impulsos, los controles de este tipo pueden trabajar como controles horarios, por recorrido o secuenciales. En la figura 4-10 el émbolo principal (cilindro hidráulico) se acciona mediante aire comprimido suministrado por la tubería correspondiente. Para la regulación de las diferentes velocidades durante el recorrido en marcha rápida E y el recorrido de avance V, hay un cilindro hidráulico con émbolo dispuesto detrás. Durante la marcha rápida el aceite fluye sin impedimento desde la cámara derecha del cilindro, que se va reduciendo al moverse el émbolo, a través de la válvula V4, a la cámara izquierda, que se va agrandando. Si al final del recorrido de marcha rápida se conmuta la válvula V4, el poco paso de aceite en la válvula estranguladora D origina una disminución de la velocidad del émbolo. Las dos válvulas (V1 y V2) que hay en los puntos finales del recorrido del émbolo conmutan la válvula V3 y envían por ésta el aire comprimido delante o detrás del émbolo principal.

Control por programa eléctrico

Las máquinas fresadoras suelen estar provistas de un equipo de control eléctrico. El programa de control se divide en dos sistemas de memoria. Las longitudes de los movimientos se fijan o bien se memorizan mediante el ajuste de topes montados sobre regletas dispuestas en las direcciones de movimiento de la mesa. Mediante dichos topes se determina al cabo de qué recorrido, es decir,

Ranura Movimiento longitudinal de la mesa

1 E1 = interruptor fin de carrera 1
2 E2 = interruptor fin de carrera 2
3 E3 = interruptor fin de carrera 3
4 E4 = interruptor fin de carrera 4
5 Avance hacia la derecha
6 A. rápido hacia la derecha
7 Avance hacia la izquierda
8 A. rápido hacia la izquierda

Movimiento transversal de la mesa

5 Avance hacia adelante
6 A. rápido hacia adelante
7 Avance hacia atrás
8 A. rápido hacia atrás

Movimiento vertical de la mesa

5 Avance hacia abajo
6 A. rápido hacia abajo
7 Avance hacia arriba
8 A. rápido hacia arriba

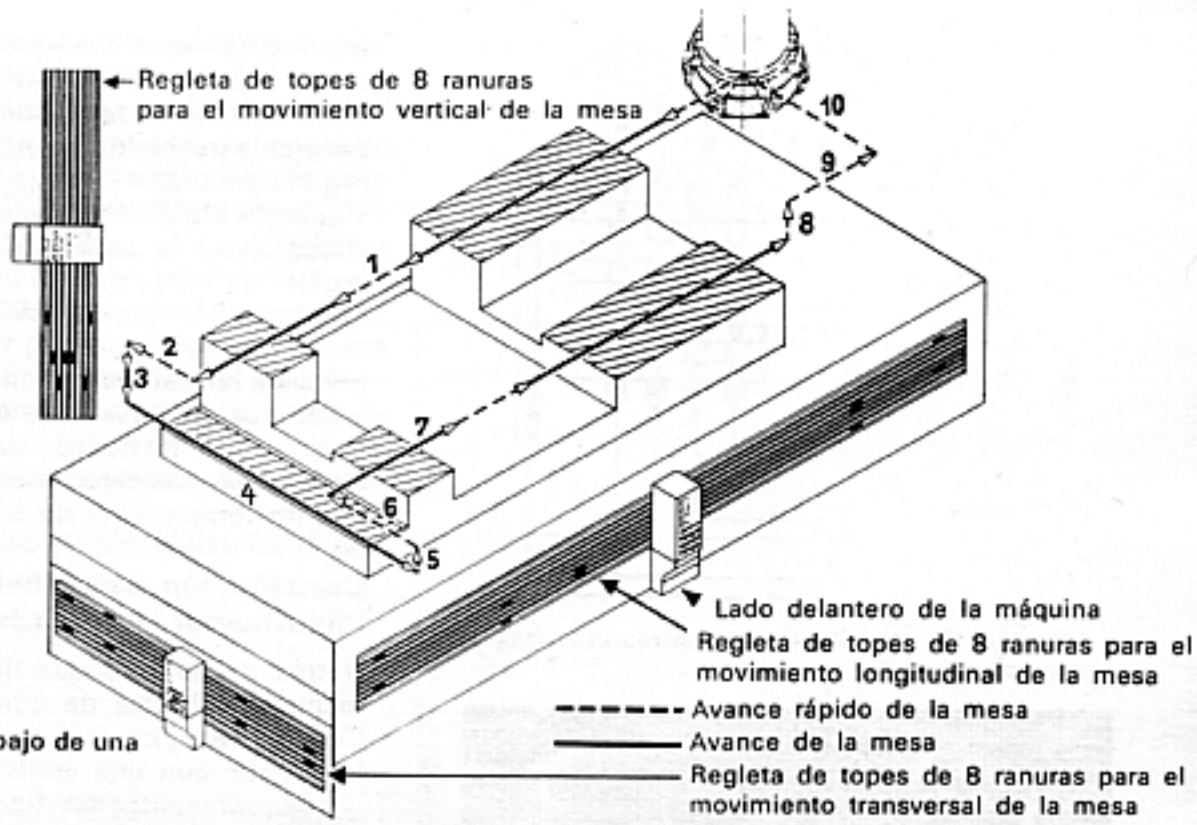


Figura 4-11. Regletas de topes y plan de trabajo de una fresadora de consola.

«cuándo» debe entregarse el nuevo impulso de conmutación. Este impulso pasa luego por un panel de clavijas eléctrico o un aparato de cinta perforada. Desde allí se transmite al elementos de accionamiento correspondiente, por ejemplo el motor de avance o el accionamiento de la fresa. Con esto se determina el lugar «donde» ha de surtir efecto el impulso.

Acción conjunta de los topes y el panel de clavijas

La pieza de trabajo se mecaniza, por ejemplo, en las operaciones de trabajo 1 a 10. Al comenzar el trabajo de fresado se fija el ciclo programado en la fila 1 del panel de clavijas, en la que hay colocada una clavija en «fresa hacia la derecha», una clavija en «mesa hacia la derecha» y una clavija en «interruptor final de carrera E2». Tan pronto como la mesa pasa sobre el interruptor fin de carrera E2, se pasa a la siguiente fila de programa del panel de clavijas. En esta segunda fila

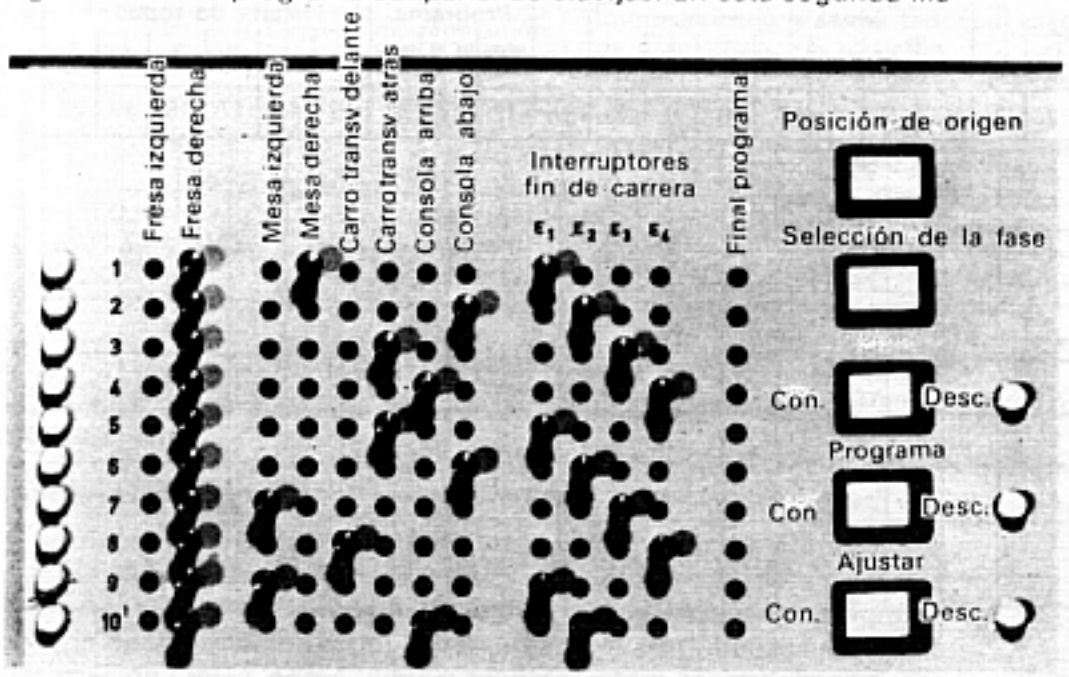


Figura 4-12. Panel de clavijas (distribuidor de barras cruzadas o de coordenadas).

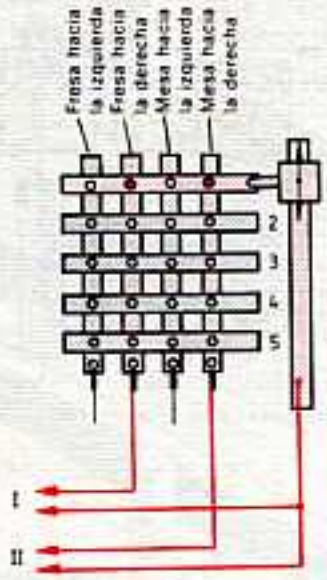


Figura 4-13. Distribuidor de barras cruzadas o de coordenadas.

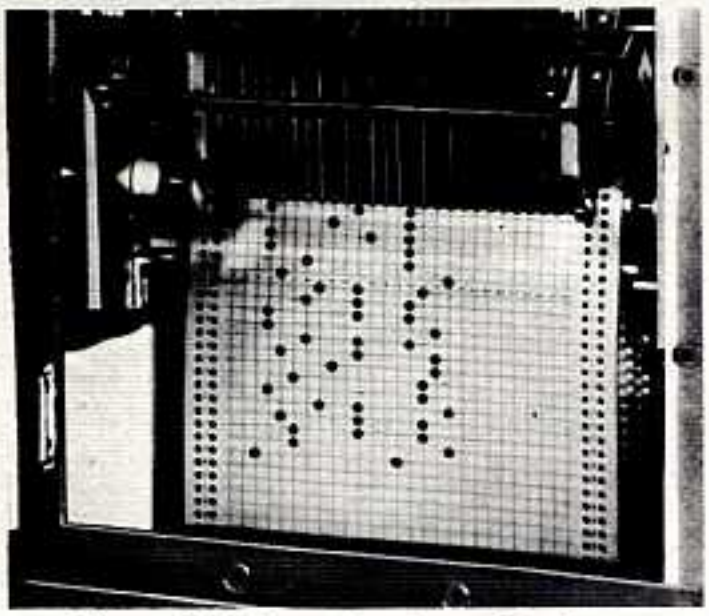


Figura 4-14. Lector de cinta perforada.

hay clavijas en los agujeros «fresa hacia la derecha», «carro transversal hacia delante» e «interruptor fin de carrera E2». Por lo tanto, la mesa se mueve hacia adelante tal y como está representado en el programa del ciclo, hasta que el interruptor de fin de carrera E2 de la regleta de topes detiene el movimiento transversal y demanda la siguiente fila de programa. En la fila de programa 3 hay clavijas en «fresa hacia la derecha» «consola hacia arriba» hasta «E2» de la regleta de topes para el movimiento vertical. Es indiferente cuál de las cuatro clavijas de interruptor de fin de carrera se coloque. Como evidencia la figura 4-11, la mesa con la pieza de trabajo se mueve a diferentes velocidades. La conmutación de «avance rápido» a «avance de fresado» y de nuevo a «avande rápido» y «avance de fresado» en la pasada de trabajo 1, tiene lugar mediante topes situados en las ranuras 5 y 6 de la regleta de topes para el movimiento longitudinal de la mesa.

Constitución del panel de clavijas (distribuidor dė coordenadas)

Detrás del tablero que lleva los agujeros y las inscripciones hay dispuestas barras de contacto en cruz y aisladas unas de otras. Cuando se pone una clavija, ésta enlaza en cada caso una barra horizontal con una vertical.

La representación (fig. 4-13) muestra las barras en cruz con dos clavijas, que establecen los dos circuitos I y II. El circuito I hace que la fresa marche a derechas y el circuito II hace que el avance de la mesa se efectúe hacia la derecha.

Cada barra horizontal corresponde a una fila en el panel de clavijas y al mismo tiempo a una operación de trabajo en el ciclo. De este modo el panel de clavijas representado hace posible la programación de un trabajo de fresado con 10 operaciones.

Acción conjunta de topes y cinta perforada

También en este caso los topes colocados como interruptores de fin de carrera demandan las combinaciones de maniobra memorizadas en la cinta perforada, haciéndose ésta saltar una fila. Unos punzones sensitivos del aparato lector de cinta perforada efectúan los correspondientes contactos a través de las perforaciones de la cinta. En el

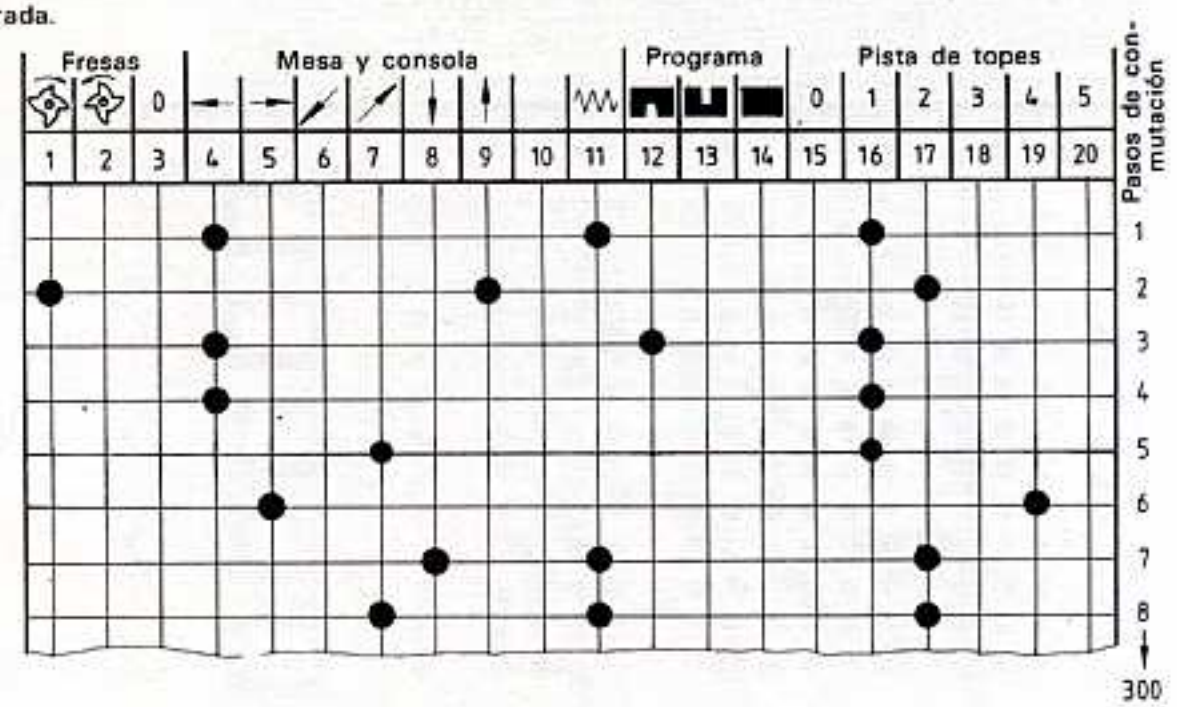


Figura 4-15. Cinta perforada.

ejemplo representado (fig. 4-15) en el paso de conmutación 1 el avance de la mesa se conmuta a marcha a la izquierda (posición 4) y en marcha rápida (posición 11) hasta el interruptor de fin de carrera 1 (posición 16). En el paso de conmutación 2 el accionamiento de la fresa se conmuta a marcha a derechas (posición 1) y la mesa se levanta (posición 9) hasta que el interruptor de fin de carrera 2 (posición 17) cambia al siguiente paso de conmutación etc. El panel de clavijas, de construcción sencilla y de funcionamiento muy seguro, tiene un límite de empleo de aproximadamente 30 a 40 pasos de conmutación. Los programas una vez elaborados pueden almacenarse para casos de repetición, con ayuda de una máscara en el panel de clavijas, para lo cual basta frecuentemente un trozo de cartón en el que se perforan los agujeros del programa. La cinta perforada tiene la ventaja de que el número de pasos de conmutación es prácticamente ilimitado, pero el aparato lector ha de mantenerse perfectamente en orden con el fin de que no falle ningún contacto, lo que podría dar lugar a graves daños en las máquinas.

4.1.2 Control numérico

CONTROL NC

NC = Numerical Control = Control por medio de números

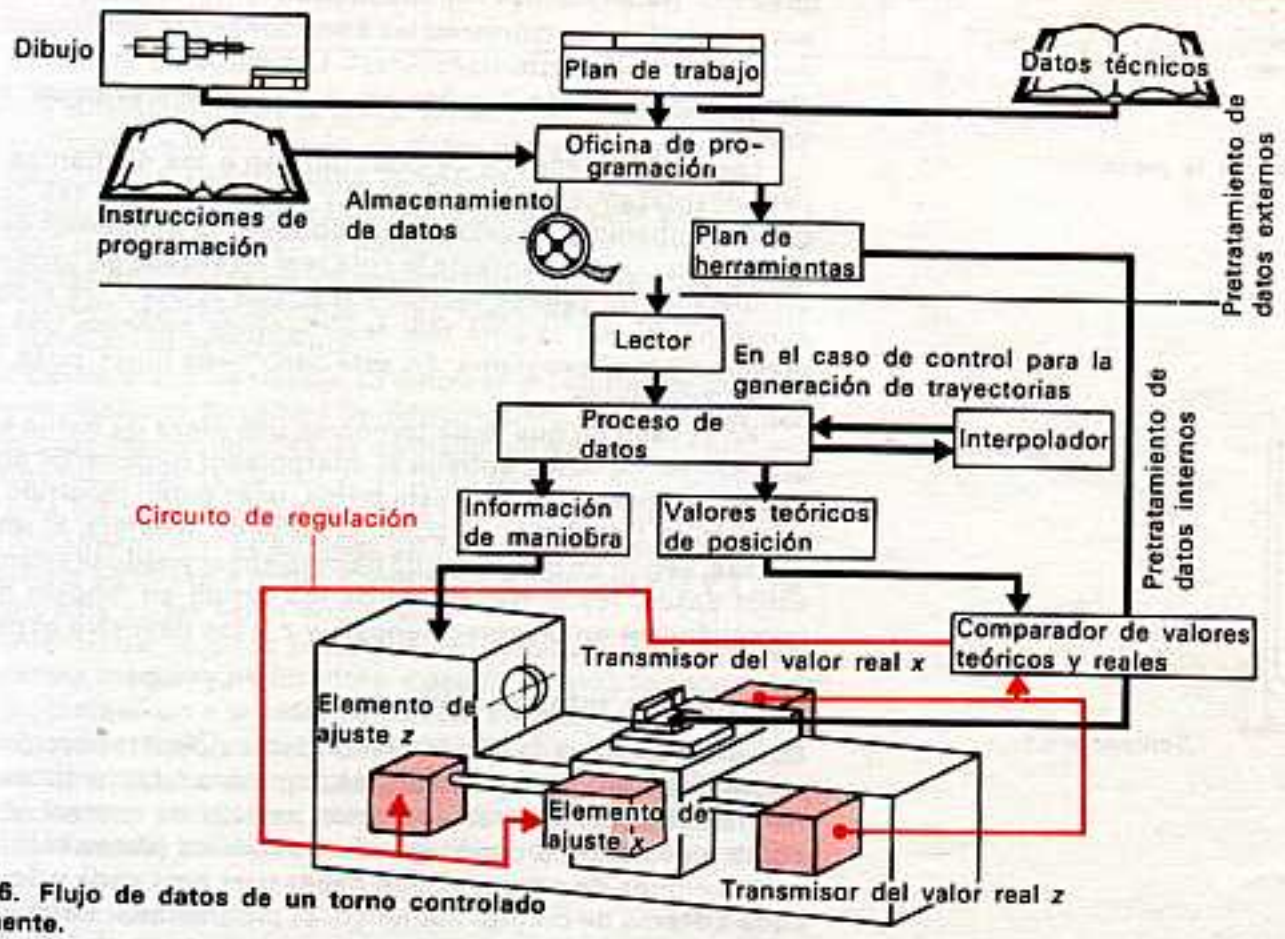


Figura 4-16. Flujo de datos de un torno controlado numéricamente.

Sistema de control

Se entiende por control numérico el control mediante números, es decir el almacenamiento de impulsos de control se efectúa en forma de números. El principio de este control puede verse en el diagrama de flujo de información arriba representado. A partir de las fuentes de información, tales como dibujo técnico, plan de trabajo y datos

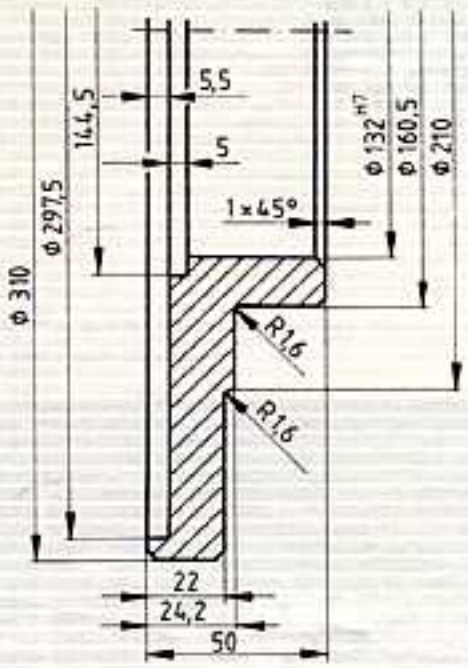


Figura 4-17. Plano de la pieza.

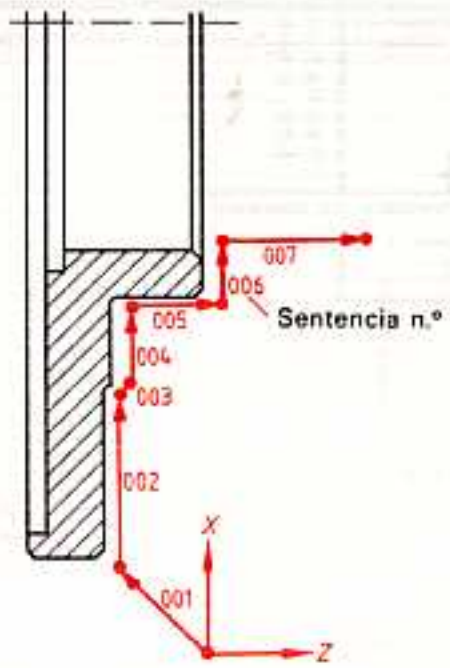


Figura 4-18. Plan de trabajo para la pieza.

técnicos, se elabora en la oficina de programación, con ayuda de las instrucciones correspondientes, un soporte de información (almacenamiento en cinta perforada) y un plan de herramientas. En un departamento de preparación de herramientas se disponen, según este plan, las necesarias para la mecanización prevista, de forma que puedan cambiarse, ya sea a mano o automáticamente desde un cassette de herramientas. Las herramientas vienen exactamente ajustadas en sus portaherramientas. No ha de ser necesario alinearlas ni ajustarlas. Las cintas perforadas y las cassettes de herramientas se suministran a la máquina listas para su uso. En sólo unos pocos minutos está insertada la cinta perforada, colocada la cassette de herramientas y sujeta la nueva pieza en bruto. Con esto la máquina queda dispuesta para el trabajo sin que sean necesarios largos tiempos de parada para alinear las herramientas, introducir el programa, situar los topes limitadores de recorrido y realizar pruebas.

Dado que la ventaja de estas máquinas reside en los cortos tiempos de preparación en los cambios, son especialmente apropiadas para series pequeñas hasta medianas. La preparación del ciclo de trabajo se hace pues fuera de la máquina, concretamente en la oficina de programación y en el taller de preparación de herramientas. Esta preparación recibe el nombre de pretratamiento de datos externo.

Una vez insertada la cinta perforada, un aparato lector toma los datos, los memoriza y los entrega al procesador de acuerdo con las necesidades. Allí se transforman en datos de maniobra para números de revoluciones y magnitudes de avance, y en valores teóricos de posición (indicaciones de desplazamiento) para los tramos de movimiento de los carros en las direcciones z = movimiento longitudinal x = movimiento transversal. Los datos de maniobra van a los elementos de ajuste que hay en el mecanismo principal y en el de avance.

Los valores teóricos de posición van a los elementos de ajuste para desplazamiento longitudinal y transversal una vez han pasado por el comparador de valores teórico y real. El transmisor de valor real realimenta constantemente la cota real alcanzada en cada instante al comparador de valores teórico y real, que acciona los elementos de ajuste hasta que la cota real realimentada coincide con la teórica prescrita por el programa. En este caso tiene lugar, pues, un proceso de regulación.

En el caso de que debe tornearse una pieza de forma esférica, el procesador de datos entrega al interpolador (ordenador electrónico) los datos necesarios para esta forma, tales como recorrido x máximo y recorrido z máximo, así como el radio de la esfera. El interpolador calcula, según un programa de cálculo almacenado previamente para estos casos, los movimientos de los carros en función del tiempo (simultáneos) en las direcciones x y z y los devuelve al procesador.

Fuentes de información

Los programadores utilizan como fuentes de información los datos referentes a la forma y tamaño de la pieza a fabricar (plano), al ciclo de trabajo (plan de trabajo), a los valores de mecanización, tales como velocidad de corte, avance y similares (datos técnicos), y las instrucciones de programación necesarias para cada máquina y para cada sistema de control numérico. El programador tiene que simular teóricamente en la oficina de programación todo el ciclo de trabajo y programar en el dispositivo o de memoria de datos una orden (dato) correspondiente para cada actividad de la máquina, incluso la más pequeña e insignificante en apariencia. Ahora ya no es el operario especializado quien decide el número de revoluciones que se ha de ajustar, o cuándo ha de entrar en funciónamiento la refrigeración, sino que estas decisiones se han tomado en la oficina de programación, y en algunas circunstancias mucho tiempo antes de

HOJA DE PROGRAMA

Pieza	Plano número	Número de hojas	Hoja

Cinta perforada															Texto comprensible			
In. prog.	Sentencia n.°	T	Coordenada X	T	Coordenada Z	T	Avance	T	Núm. de rev.	T	Herramienta	T	Func. auxiliar	T	E	Avance		Nº rev.	Vel. corte
																mm/v	mm/min	rpm	m/min
t	001		31000		01150		99		55		01		01				4500	56	
	001		32000		02250		99		55		01		01						
	001		32000		02250		99		55		01		01						
	002		22200				53		57		01		01			0,63	45	71	56
	002		22200				53		57		01		01						
	002		22200				53		57		01		01						
	003		21700		02500		56		57		01		01			0,63	45	71	56
	003		21700		02500		56		57		01		01						
	003		21700		02500		56		57		01		01						
	004		16150				57		61		01		01			0,63	71	112	56
	004		16150				57		61		01		01						
	004		16150				57		61		01		01						
	005				05050		57		61		01		01			0,63	71	112	56
	005				05050		57		61		01		01						
	005				05050		57		61		01		01						
	006		12100				58		63		01		01			0,63	80	140	56
	006		12200				58		63		01		01						
	006		12200				58		63		01		01						
	007				12100		99		63		01		01				4500	140	
	007				12200		99		63		01		01						
	007				12200		99		63		01		01						

Figura 4-19. Hoja de programa.

que comience la fabricación de la pieza. A partir del plano, el plan de trabajo convencional y la colección de datos tecnicos, se diseña un plano de trabajo que descompone la mecanización en distintos pasos (órdenes). Cada paso de trabajo está determinado por un número de orden (sentencias) por la dirección de movimiento *x* o *z* o bien *x* y *z*, por las longitudes de los movimientos, las magnitudes de avance, el número de revoluciones y las funciones auxiliares, por ejemplo la lubricación refrigerante.

Para dibujar un plano de trabajo se emplean máquinas de programación construidas una trazadora de dibujos, pero que en lugar del cabezal de dibujo llevan plantillas de las cuchillas o de las herramientas. Con estas plantillas se simula el ciclo de trabajo pasándolas por la pieza. En la máquina pueden luego leerse las longitudes de los diferentes movimientos y el número de pasos. Los resultados del plano de trabajo se pasan a mano como texto comprensible y a una hoja de programa como texto codificado.

Para confeccionar la cinta perforada se introduce esta hoja de programa en una máquina perforadora. Cuando se pasa lo escrito en la hoja de programación a la cinta perforada, se escribe simultáneamente el segundo renglón y cuando se prueba la cinta perforada la máquina escribe el tercer renglón en la hoja de programa. Comparando los tres renglones, que son consecutivos, pueden determinarse fácilmente los errores de escritura o de transcripción.

Dispositivos de datos

Pueden ser tarjetas perforadas, cintas perforadas y bandas magnéticas. Las cintas perforadas son las más acreditadas, ya que las tarjetas se manejan peor y las bandas magnéticas no pueden leerse visualmente. Hay cintas perforadas de cinco y de ocho canales. Las últimas pueden alojar más datos y tienen un código de número par o un código impar. El código 8B-VDI 3259 es de número impar, es decir, cada combinación de agujeros consta de un número impar de

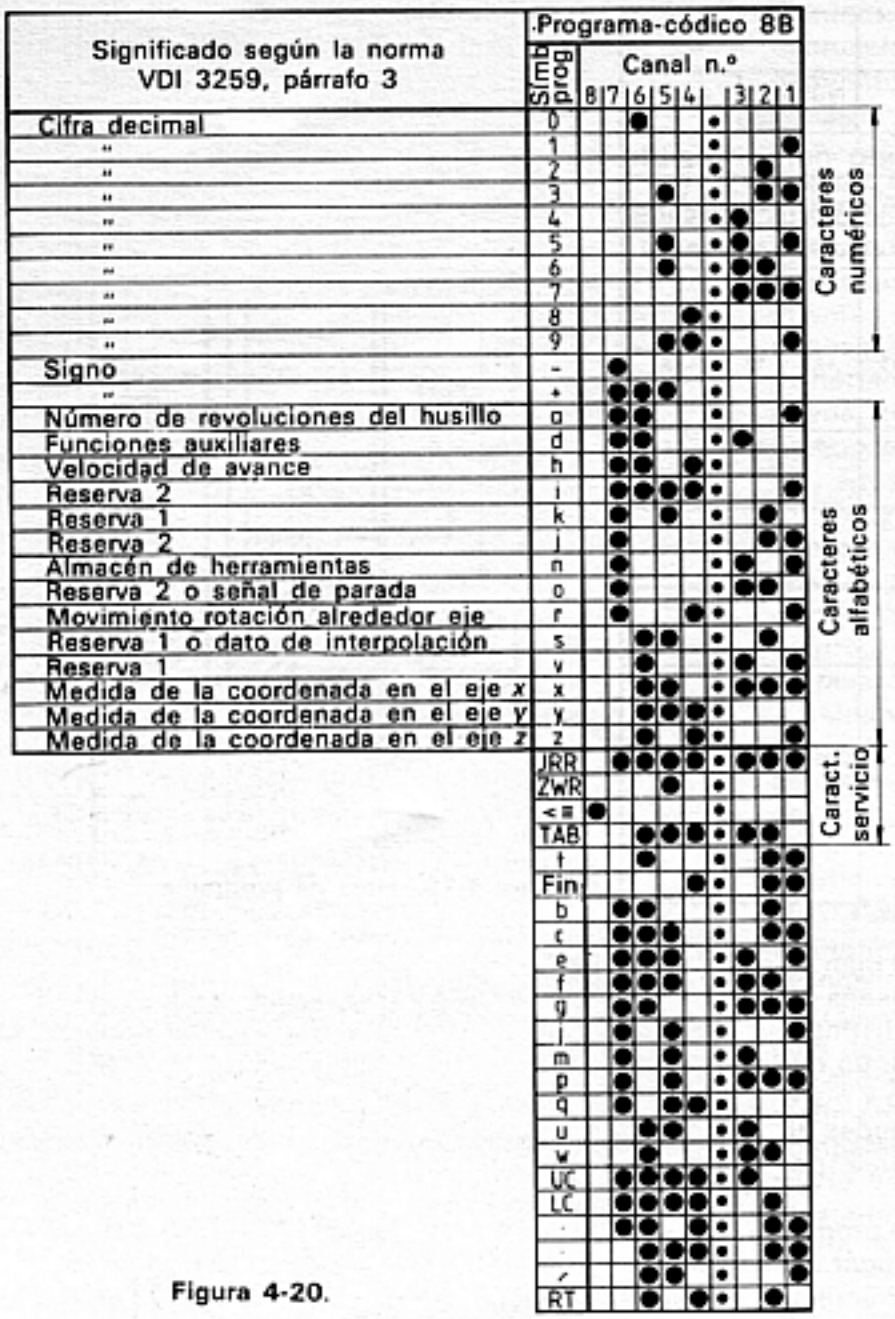


Figura 4-20.
Cinta perforada de 8 canales.

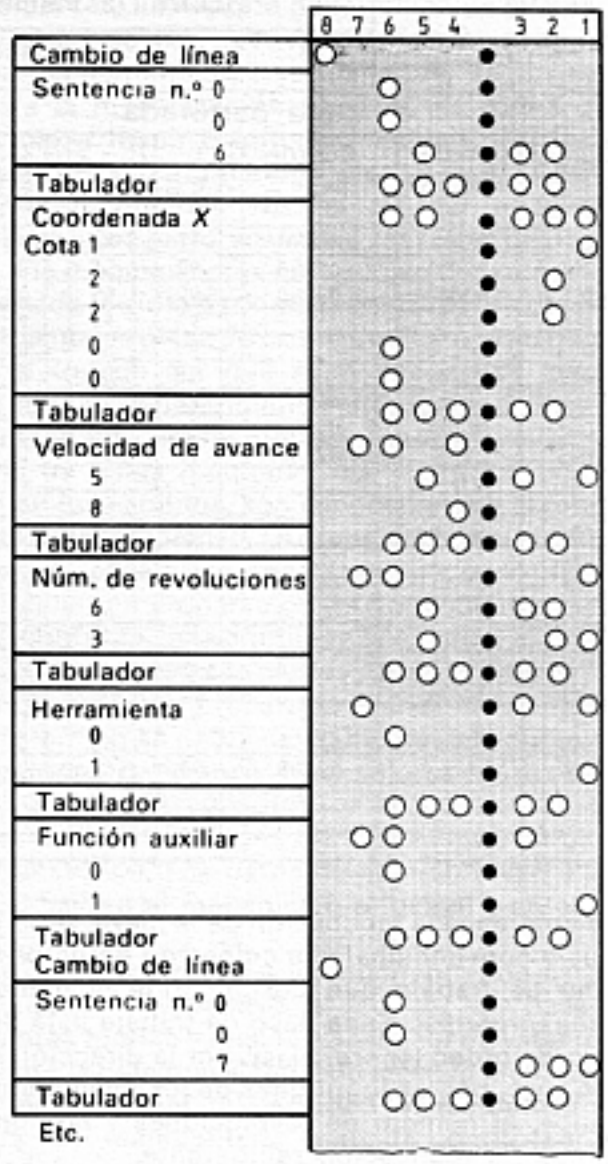


Figura 4-21. Cinta perforada.

éstos. Mediante las diferentes combinaciones de agujeros pueden representarse de forma inequívoca todas las cifras, todas las letras del alfabeto, y gran número de otros signos. En el borde inferior del dibujo contiguo están representados los valores de los canales. El canal n.º 1 tiene el valor 1, el canal n.º 2 el valor 2, el canal n.º 3 el valor 4 y el canal n.º 4 el valor 8. La cifra 9 se forma por lo tanto con un agujero del canal 4 (valor 8) y uno del canal 1 (valor 1). El agujero del canal 5 de la misma línea tiene como único cometido aumentar el número de agujeros a uno impar.

La cifra 7 se representa por medio de un agujero en el canal 3 (valor 4), uno en el canal 2 (valor 2) y uno en el canal 1 (valor 1).

La figura contigua muestra un trozo de la cinta perforada correspondiente al ejemplo práctico de trabajo anteriormente mencionado. Comienza con un agujero en el canal 4 que significa cambio de línea. Luego sigue el nuevo número de orden con dos veces 0 y la cifra 6. A continuación las cinco perforaciones para el tabulador, lo cual significa parada o atención, y sigue un nuevo valor. La siguiente información comienza con el signo *x*. La máquina dará pues todos los demás datos al elemento de ajuste para la coordenada *x*. Sigue la medida codificada para el desplazamiento del carro transversal en la

dirección de la coordenada *x*. A continuación nuevamente el signo de tabulador. Sigue la velocidad de avance. Esta información se entrega como información de maniobra al mecanismo de avance. El número de revoluciones que figura a continuación, va como información de maniobra al mecanismo principal. El signo de herramienta 01 demanda la herramienta correspondiente de la cassette de herramientas, o en el caso de que las herramientas se cambien a mano, se ilumina el número de herramienta de forma bien visible para que el operario ponga la herramienta correspondiente en la máquina. Mediante el dato «funciones auxiliares» 01, entra por ejemplo la lubricación refrigerante de la máquina. Después de los signos «tabulador» y «cambio de línea» comienza la orden número 007.

Determinación del valor real (Medición del desplazamiento)

En el control numérico se introducen valores teóricos para la posición. Los valores de posición reales han de compararse constantemente con los teóricos, para lo cual se necesitan aparatos que lean el valor real exacto y lo transmitan al **comparador de valores teóricos y reales.**

Medición comparativa
(Medición analógica del desplazamiento)

Un cursor fijado al carro toma de un hilo de resistencia una tensión que es proporcional al desplazamiento efectuado. Esta tensión tomada (valor real), se compara con una tensión producida mediante conexión de determinadas resistencias (valor teórico). En la figura se ha fijado el valor 4 como valor teórico 4.

En la práctica se emplean generalmente tres de estas conexiones en puente, una para el ajuste basto, otra para ajuste de exactitud mediana y la tercera para el ajuste fino.

Medición indicadora del incremento
(Medición digital del desplazamiento)

Una regleta graduada de vidrio lleva dispuestos alternativamente campos claros y oscuros de longitud determinada, por ejemplo 1/100 mm. Una célula fotoeléctrica unida al carro explora la regleta graduada y entrega un impulso al mecanismo contador con cada cambio de campo. El estado del contador corresponde al valor real del desplazamiento efectuado.

Medición indicadora de valores absolutos
(Medición digital-absoluta del desplazamiento)

Varias células fotoeléctricas exploran una regleta graduada de varias pistas. Cada longitud corresponde a una combinación de campos determinada, que luego se transforma en un valor de medición (valor real) en el apartado indicador.

Clases de control numérico
Control punto a punto

En el control punto a punto, empleado sobre todo en máquinas de taladrar, sólo tiene importancia el punto final de cada proceso de control, no el modo en que se han efectuado ambos desplazamientos (por ej., $y = 50$ y $x = 30$), es decir sucesivamente o simultáneamente.

El arranque de viruta no comienza hasta que no se alcanza el punto de control.

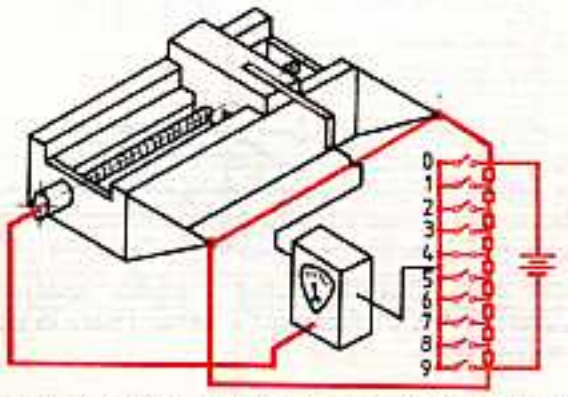


Figura 4-22. Sistema de medición comparativo.

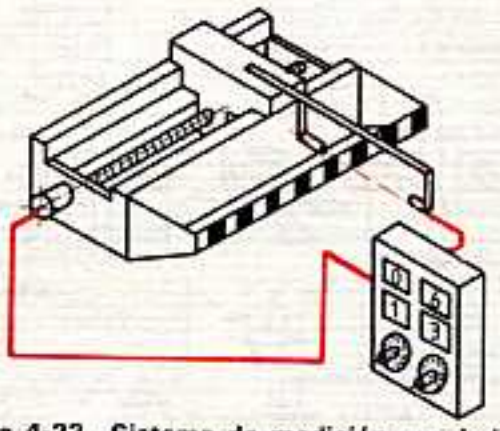


Figura 4-23. Sistema de medición que indica el incremento.

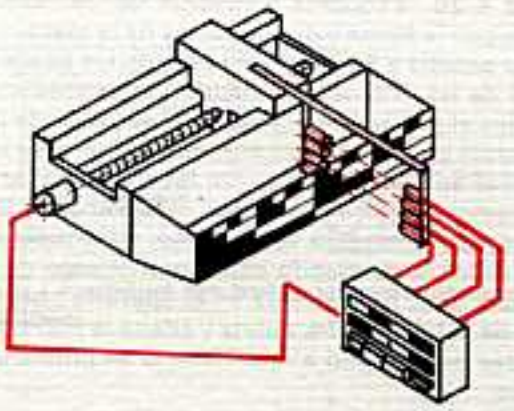


Figura 4-24. Sistema de medición que indica valores absolutos.

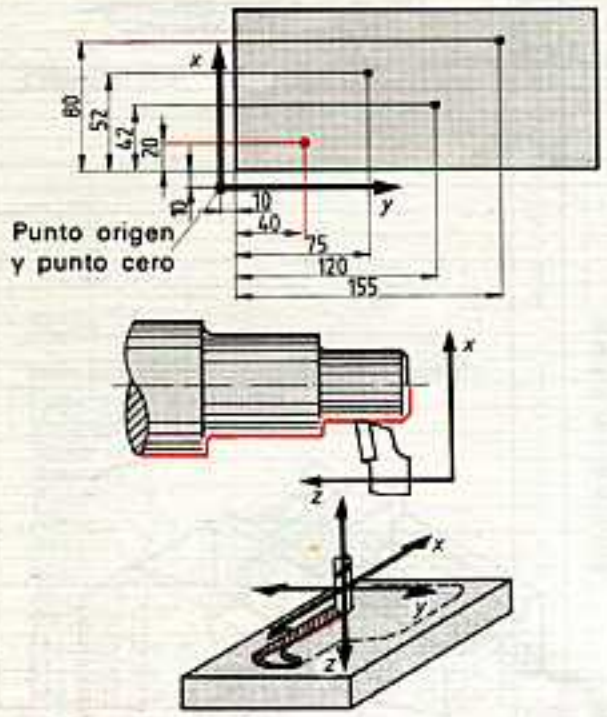


Figura 4-25. Control punto a punto, control para el seguimiento de trayectorias y control para la generación de trayectorias.

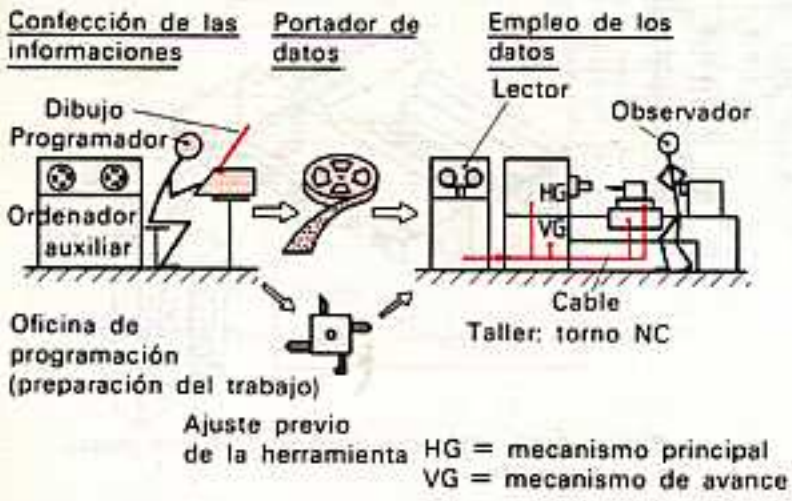


Figura 4-26. Esquema funcional de un control NC.
Dibujo con la forma y dimensiones de la pieza → **el programador** estudia a fondo la sucesión de los pasos de fabricación y da las órdenes de mando correspondientes para la máquina al portador de datos → el **portador de datos** (cinta perforada) conserva estas órdenes de mando y las va entregando al aparato lector según las necesidades → el aparato lector traduce los datos numéricos a órdenes de mando que entrega a la máquina → la **máquina** ejecuta estas órdenes de mando como movimiento de la pieza de trabajo y de la herramienta → el **operario** observa el desarrollo de la fabricación, sujeta y suelta la pieza, controla las medidas de acabado e interviene si se producen averías o errores.

Control para el seguimiento de trayectorias

En este caso el desplazamiento se efectúa siempre en una sola dirección, o sea en la dirección *x* o en la dirección *z*. Sólo en algunos casos excepcionales se efectúa simultáneamente un desplazamiento en ambas direcciones, obteniéndose mediante ello, y con velocidad constante, chaflanes o bien gargantas a 45°. El orden y longitud de los desplazamientos en los ejes *x* y *z* producen la forma deseada de la pieza. La pieza se mecaniza durante los movimientos de desplazamiento.

Control para la generación de trayectorias

En este caso se mecanizan formas complicadas en las piezas mediante desplazamiento simultáneo en dos o también tres direcciones. Las velocidades a que deben efectuarse los desplazamientos simultáneos en las diferentes direcciones, por ejemplo, para fresar una forma elíptica, han de determinarse por medio de un ordenador electrónico (interpolador). Las máquinas con control para generación de trayectorias son más versátiles que las de control punto a punto o control para seguimiento de trayectorias.

CONTROL CNC

CNC = computerized numerical control = control numérico mediante ordenador

Diferencia entre la técnica NC y la técnica CNC

En la técnica NC descrita en las páginas anteriores los programadores elaboran en la oficina de preparación de trabajo un dispositivo de datos. Dicho dispositivo generalmente una cinta perforada, contiene todas las informaciones u órdenes para la máquina, necesarias para la mecanización de una pieza, en forma de combinaciones de números. Cuando se programan formas difíciles o procesos de fabricación extensos, se utiiza un ordenador para las operaciones de cálculo y para almacenar y entregar partes del programa que se repiten con frecuencia. El ordenador sólo tiene en este caso una función auxiliar; no es absolutamente necesario. La cinta perforada terminada (dispositivo de datos) se introduce en el aparato lector de la máquina herramienta y obliga a ésta a ejecutar los posicionamientos y movimientos necesarios. Para obtener la precisión de forma y medida deseada, las herramientas han de ajustarse previamente en un departamento especial.

En la técnica NC apoyada por ordenador (técnica CNC) el programa de control es elaborado para la máquina en la máquina misma. Se establece un diálogo (conversación) entre el operario, por ejemplo el tornero, y un ordenador incorporado en la máquina. El medio de comprensión es un cuadro de maniobra de entrada manual que hay en la máquina. Dado que un programa de control consta de órdenes para operaciones que se repiten siempre, por ejemplo roscar, y de las magnitudes variables de las roscas, resulta que cuando se elabora un programa de control está ya predeterminada la división del trabajo, es decir lo que ha de realizar el operario y lo que recae en el ordenador.

División del trabajo y diálogo

A continuación se describe un ejemplo en un torno.

Ejemplo de roscar: El operario da la orden «roscar» pulsando la tecla correspondiente en el cuadro de servicio. El ordenador hace

que aparezcan algunas letras en el panel indicador y pregunta de este modo, entre otras cosas, el diámetro, el paso y la longitud de la rosca. El operario tiene que haber aprendido, naturalmente, el significado de las letras. Una vez introducidas las magitudes exigidas puede comenzar el ciclo de trabajo. En caso de que el operario se haya equivocado al introducir los valores, por ejemplo paso 200 mm en lugar de 2 mm (error de instrucción), el ordenador le avisa, indicando «error». El proceso de roscado, o sea, la aproximación de la herramienta después de cada pasada, el movimiento de retirada, la velocidad de corte y la velocidad de avance óptimas, es gobernado por el ordenador automáticamente, porque ya ha sido programado por el fabricante de la máquina para realizar tales subprogramas o ciclos de trabajo. El operario ahora únicamente decide si debe o no almacenarse para su repetición este proceso de roscado, con estos valores dimensionales determinados, como parte de una pieza que se fabrica.

La división del trabajo en la elaboración del programa consiste pues en que el operario, por medio del plano de la pieza,

— determina el ciclo de fabricación,
— pide los ciclos de trabajo o subprogramas almacenados en el ordenador,
— introduce las medidas de la pieza,
— en algunos tipos de máquinas preselecciona también la velocidad de corte y el avance y modifica según su propio criterio estos valores durante la observación del proceso de arranque de viruta (o modifica también los valores predeterminados por el ordenador),
— toma la decisión en lo referente al almacenamiento del programa completo, o de una parte del mismo, para su repetición,
— pone en marcha o detiene toda la instalación.

El operario, a través de la entrada manual, sólo puede actuar sobre el ordenador; no directamente sobre la máquina.

En esta división de cometidos, el ordenador asume funciones correspondientes a sus «aptitudes». No todas las máquinas que disponen de control numérico, ejecutan todas las operaciones expuestas en este caso a modo de ejemplo. Hay máquinas pequeñas, baratas, para fabricar piezas sencillas, con pequeña capacidad de almacenamiento en el ordenador, y máquinas grandes, voluminosas y caras, con gran capacidad de almacenamiento, para piezas complicadas.

Cometidos de control del ordenador:

— Preparación de subprogramas o ciclos de trabajo demandables, para los que el operario únicamente tiene que introducir las magnitudes de referencia, como por ejemplo:
  chaflanes con diferentes dimensiones y ángulos,
  gargantas de salida según la norma DIN 76 o DIN 509,
  roscas de todas las formas y tamaños,
  redondeados exteriores e interiores, o bien formas esféricas de cualquier tamaño,
  entalladuras en cilindrados y refrentados,
  subdivisión del corte según profundidades de corte predeterminadas, y otras.
— Torneado del contorno final en una sección,
— Mantenimiento de la velocidad de corte preseleccionada, mediante regulación del mecanismo principal de regulación continua.
— Consideración del tamaño del radio de la punta de la herramienta al tornear en acabado.

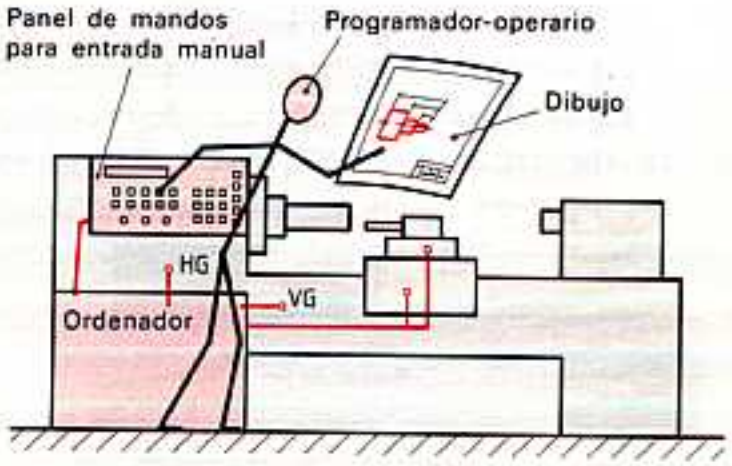


Figura 4-27. Esquema funcional de un control CNC. Dibujo con la forma y dimensiones de la pieza → el **programador-operario** estudia a fondo el ciclo de fabricación y da las órdenes correspondientes al ordenador → el **ordenador** «conversa» con el programador-operario (diálogo), aporta su «ciencia aprendida» y transmite las órdenes de mando a la máquina → la **máquina** ejecuta estas órdenes.

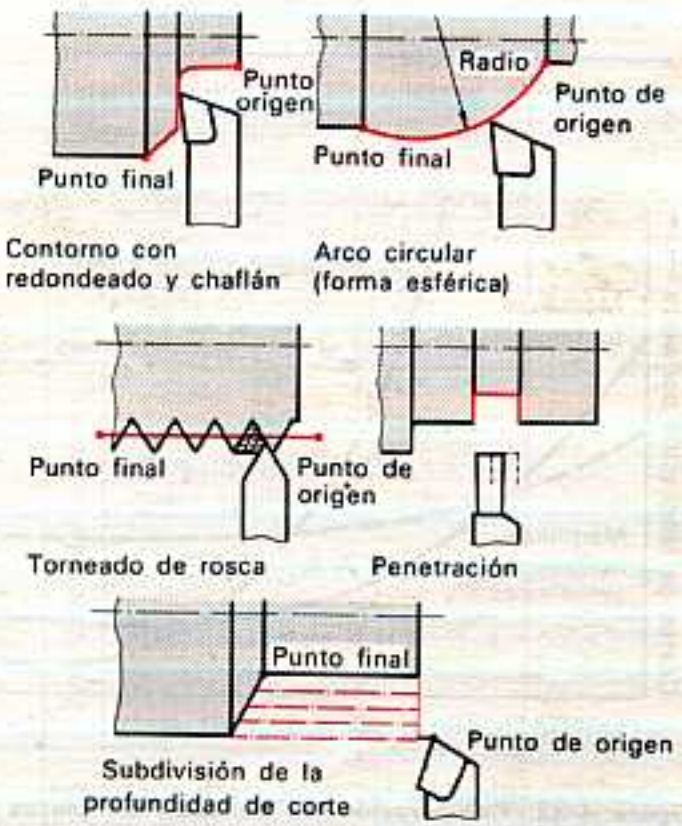
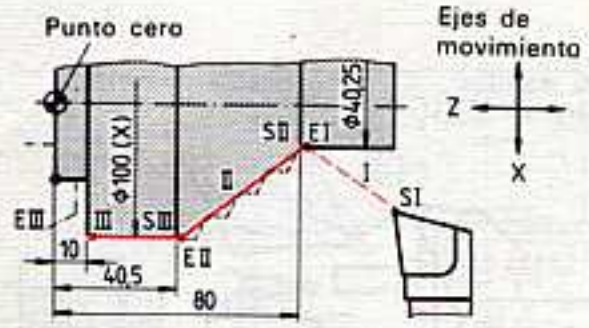


Figura 4-28. Ejemplos de subprogramas almacenados en el ordenador.



Cometido	Entrada manual	
	Pulsar la tecla de función	Entrada de medida
Trasladar la herramienta con **avance rápido** desde el punto de origen S_I hasta el punto final E_I	Avance rápido	Definir E_I X 80.000 Z 40.250
Movimiento de la herramienta desde el punto de origen S_{II} hasta el punto final E_{II} con velocidad de corte v constante y avance s	Torneado cónico	Definir E_{II} X 100.000 Z 40.500 Valores de trabajo v 45 s 0.25
Movimiento de la herramienta hasta el punto final E_{III} para tornear en acabado	Z Torneado longitudinal	Definir E_{III} Z 10000 v 60 s 0.16

Figura 4-29. Ejemplos de una entrada manual.

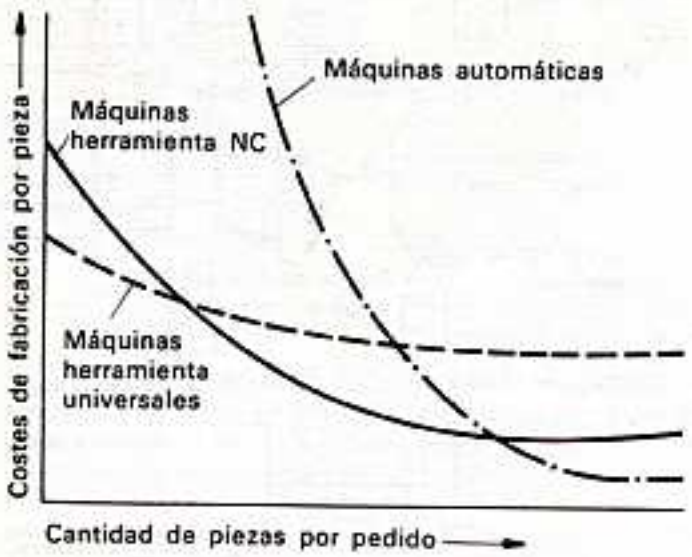


Figura 4-32. Comparación de cantidad de piezas y costes de fabricación con diferentes estados de automatización de las máquinas herramienta.

— Corrección de los errores sistemáticos de las regletas graduadas.
— Control de las entradas manuales mediante comparación con valores límite almacenados y aviso de error, en el caso de que se produzcan entradas incorrectas.
— Comparación de los valores teórico y real de los desplazamientos de la herramienta.
— Recepción a través del aparato lector de programas para piezas complicadas, elaborados fuera de la máquina.
— Almacenamiento o impresión de ciclos de fabricación completos, para su repetición.

Pueden programarse además otros cometidos de control, en función del tamaño del ordenador.

Un ordenador consta fundamentalmente de cinco unidades funcionales. Las **unidades de entrada** en las máquinas CNC son el cuadro de servicio de entrada manual y un aparato lector de cinta perforada o banda magnética. La **unidad de control** obtiene las órdenes de operaciones e induce a la unidad de proceso a realizar los procesos de cálculo ordenados. El **almacenamiento** (o memoria) tiene el cometido de retener las entradas y los resultados de cálculo. Las **unidades de salida** entregan los datos almacenados o calculados a un aparato de presentación visual (ventanilla indicadora en el cuadro de entrada manual, monitor u otros), o a través de amplificadores a los órganos de desplazamiento de la máquina herramienta (motores de accionamiento de los husillos de desplazamiento o avance, mecanismo principal y otros), o a una impresora o perforadora de cintas. Los componentes, concretamente la unidad de proceso, la unidad de control y la memoria, juntos, constituyen un **microprocesador**. Una máquina herramienta con control numérico puede tener incorporados a su ordenador varios microprocesadores para cometidos diferentes.

RENTABILIDAD DE LOS CONTROLES NUMÉRICOS

El campo de aplicación de las máquinas herramienta de control numérico, depende de las ventajas e inconvenientes que tengan con respecto a otros tipos y niveles de automatización.

Por un lado están las máquinas herramienta de usos múltiples, universales, por ejemplo, los tornos con husillo de roscar y cilindrar, las fresadoras universales y otras, con los operarios profesionales, altamente calificados, para la fabricación de piezas únicas o pequeñas cantidades de piezas (lotes). Por otro lado la utilización de las máquinas con control numérico está delimitada por las máquinas herramienta para un solo uso, por ejemplo los tornos para cigüeñales, las fresadoras de engranajes, y los tornos automáticos y fresadoras automáticas preparados para grandes cantidades de piezas. Las máquinas de control numérico se utilizarán allí donde los lotes y la repetición de los pedidos justifiquen la costosa elaboración de la información programada, así como la creación y el almacenamiento de los juegos de herramientas necesarios.

Una regla sencilla para la utilización de máquinas NC podría ser:

Máquinas universales para la fabricación de piezas sueltas y en pequeñas cantidades. Máquinas automáticas para números muy grandes de piezas, a causa de lo costoso de los cambios de preparación. Máquinas NC para cantidades medianas de piezas y repetición previsible. Para tomar la decisión puede ser también importante el nivel de formación del personal y la repetibilidad del proceso de fabricación, independientemente de los intervalos y del tiempo de duración de los pedidos.

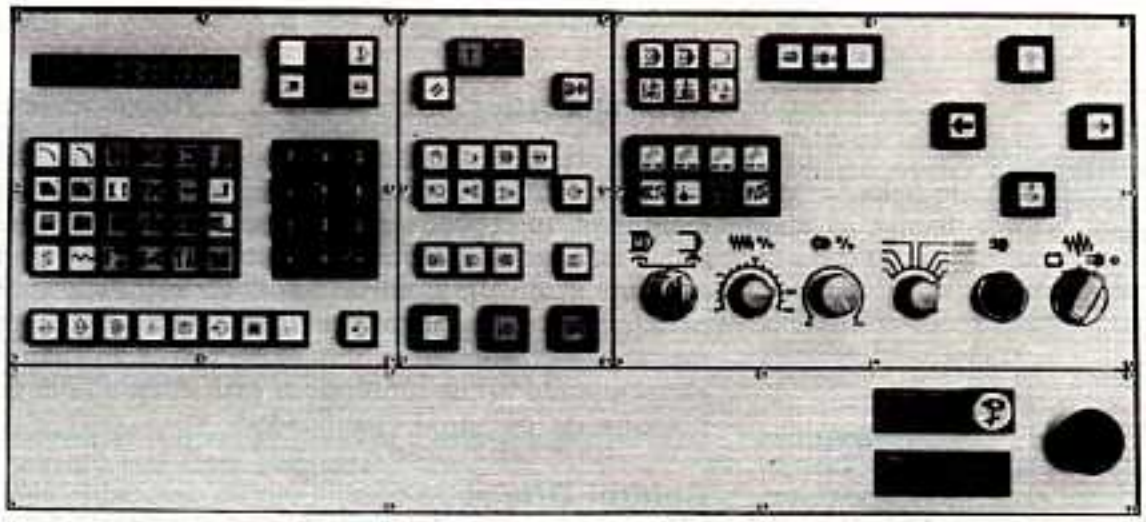
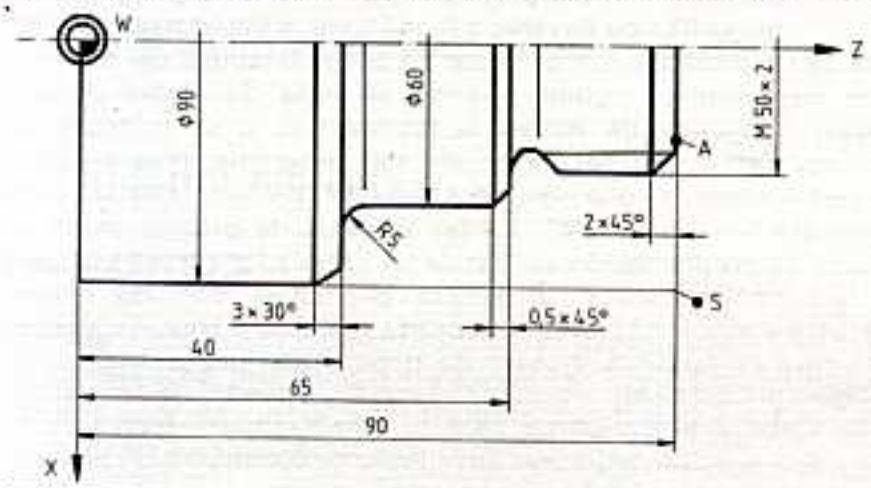


Figura 4-30. Cuadro de maniobra de entrada manual.
Cada fabricante de controles CNC ha desarrollado su propio cuadro de maniobra. El representado en la figura tiene muchas teclas con símbolos, lo cual facilita el manejo y permite utilizar óptimamente la máquina cuando el operario domina el significado de todos los símbolos y puede manejarlo con seguridad.



Perno
Tornear completo
incluida la rosca

Pieza de partida ϕ90 X 90

S = Punto de arranque de mecanizado
A = Punto inicial del contorno

Símbolo	Indicación/entrada	Entrada facultativa	Explicación
S	V 150 K 2000	M 40	Demanda: v constante (150 m/min) N de revoluciones límite (2 000 rpm)
T	T 1013		Demanda: Herramienta para N10 (desbastar) Sentido de rotación
I Z	C 10 X 92000 Z 92000 I 500 K 4000 Y 300 X 45000 Z 90000	F	400 Mecanizado del contorno con selección de la dirección de corte principal y de la tecnología
X	X 50000 Z - B 2000	F	200 Descripción del contorno: Chaflán de 2 × 45°
	Z 65000 X + P 2000		Garganta de salida de rosca según norma DIN 76
X	X 60000 Z - B 500		Chaflán de 0,5 × 45°
Z	Z 40000 X + R -5000		Redondeado de R = 5
X	X 90000 Z 36000 B 3000 A 30		Chaflán de 3 × 30°
J			Final de la descripción del contorno
T	T 2023	S	180 Demanda: Herramienta para N8 (acabar).- v constante (180 m/min)
J	C 1 X 92000 Z 92000		Demanda: Contorno final

Figura 4-31. Ejemplo de un ciclo de fabricación en un torno con control CNC.
Las letras rojas aparecen en la ventanilla de presentación visual (en la parte superior izquierda de la figura anterior) del cuadro de maniobra, indicando con ello al operario que introduzca los valores de medida necesarios.

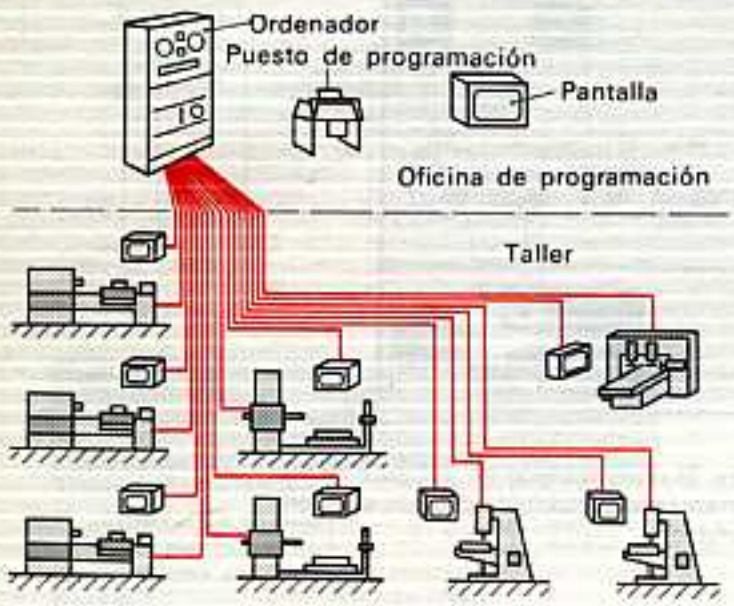


Figura 4-33. Ejemplo de un departamento industrial con técnica DNC.

Control CNC

Con el desplazamiento de la programación desde la oficina de preparación de trabajo al taller y la integración del control en las máquinas, se produce una unidad de fabricación independiente con todas las ventajas del control numérico. Gracias a esto, las ventajas de fabricación del control numérico son accesibles ahora también para la pequeña y mediana empresa. Los altos costes de adquisición respecto a una máquina normal, se justifican cuando la capacidad de almacenamiento del ordenador está adaptada al tipo de piezas y se dispone de personal cualificado.

Control DNC (direct numerical control)

El control DNC es un perfeccionamiento de la técnica del control numérico (NC). En la técnica NC normal, las órdenes de maniobra han de estamparse en la cinta perforada por medios mecánicos. Las cintas perforadas han de llevarse a la máquina e insertarse en la misma para ser exploradas por el lector de cinta. Después del rebobinado (que lleva mucho tiempo cuando se trata de cintas perforadas largas) comienza de nuevo la fabricación, o se guardan en el archivo. Esta parte del desarrollo del programa, muy propensa a perturbaciones y que requiere mucho tiempo, puede eludirse mediante la técnica DNC. En los puestos de programación de la oficina de programación se instala un ordenador con alta capacidad de almacenamiento y se enlaza por cable con las máquinas herramienta que disponen de control numérico. Una instalación de este tipo es rentable a partir de ocho a diez máquinas.

Ejemplo del desarrollo del proceso: En el puesto de programación 7 se elabora el programa para la mandrinadora fresadora II. El programa acabado pasa con un número de identificación a la unidad de almacenamiento del ordenador de la que puede ser llamado por el operario de la máquina o por un «programa de organización de servicio» de mayor jerarquía, ubicado en el ordenador. El diálogo entre el ordenador y el operario se efectúa a través de pantalla. Hasta ahora sólo existen sistemas de este tipo en algunas grandes empresas dedicadas a la fabricación de grandes cantidades de piezas del mismo tipo.

Ejercicios

Automatización de la fabricación

Control y regulación

1. ¿Qué se entiende por automatización?
2. ¿Cuál es la diferencia entre control y regulación?
3. ¿De qué elementos se compone una cadena de control?
4. Describir un circuito de regulación.
5. ¿En qué se diferencia el control por guía del control por programa?
6. Establecer la diferencia entre control horario, control por recorrido y control secuencial.
7. ¿Cuáles son las tecnologías usuales de los controles?
8. ¿Qué cometido tiene el palpador o elemento sensible en los controles por guía?
9. Describir el ciclo funcional de un control por guía eléctrico para torneado copiador.
10. ¿Cuál es la acción combinada del palpador, el amplificador, el electroimán y la corredera distribuidora de un control electrohidráulico?
11. ¿Qué efecto producen los tambores de levas y los discos de levas en los tornos automáticos con control por programa mecánico?
12. ¿Cuándo son rentables los tambores y los discos para el almacenamiento de ciclos de trabajo?
13. Explicar qué es un control por programa hidroneumático.
14. ¿Qué ventajas tienen las instalaciones de control hidroneumáticas?

Control numérico

15. ¿Qué significa «control numérico»?
16. Comparar las denominaciones NC y CNC.
17. ¿Dónde se elaboran los programas para el control de una máquina NC?
18. ¿A partir de qué fuentes de datos se confecciona un programa?

19. ¿Qué procedimientos extisten para llevar los datos hasta las máquinas herramienta?
20. ¿Qué efecto producen los impulsos de control en la máquina herramienta?
21. ¿Cuál es el cometido del ordenador?
22. ¿Para qué sirve el comparador de valores teóricos y reales?
23. Establecer la diferencia entre proceso de datos externo e interno.
24. Describir el flujo de datos de un torno con control numérico.
25. ¿Qué ventajas tiene la máquina herramienta con control numérico?
26. ¿Qué datos del plano de la pieza se pasan al dispositivo de memoria que constituye la cinta perforada?
27. ¿Cómo se efectúa el proceso de transmisión de datos?
28. ¿Qué datos se inscriben en la hoja de programa?
29. ¿Por qué motivos se han destacado las cintas peforadas como el mejor dispositivo de información para el control NC?
30. ¿En qué asesora el plan de trabajo a la programación?
31. ¿Cómo están constituidas fundamentalmente las cintas perforadas?
32. Explicar la constitución del código de una cinta perforada de ocho canales.
33. Establecer la diferencia entre los tres procedimientos para la medición precisa del desplazamiento.
34. ¿En qué tipos de máquinas herramienta es suficiente el sencillo control punto a punto?
35. ¿En qué tipo de máquinas herramienta se requiere el control para el seguimiento de trayectorias?
36. ¿Donde tiene aplicación el control para la generación de trayectorias?
37. Establecer la diferencia entre control NC y control CNC.
38. ¿En qué consiste el perfeccionamiento representado por el control CNC?
39. ¿Cómo puede establecerse el diálogo entre el operario y el ordenador?
40. ¿Qué cometidos asume el operario en un control CNC?
41. ¿Qué funciones de control asume el ordenador?
42. ¿De qué partes principales consta un ordenador?
43. ¿Qué es un subprograma o ciclo de trabajo?
44. Establecer la diferencia entre control NC y control CNC en lo que se refiere a utilización y rentabilidad.
45. Describir un control DNC.

4.1.3 Control hidráulico

FUNDAMENTOS

En las instalaciones hidráulicas se transmiten fuerzas y movimientos por medio de líquidos. Mediante el líquido transmisor es posible multiplicar las fuerzas y gobernar con gran sensibilidad los movimientos.

Ejemplos de aplicación

Máquinas herramienta: Movimientos de la mesa en rectificadoras, copiado en torno, transporte y sujeción de piezas en cadenas «transfer», movimientos de avance en unidades de mecanizado.

Vehículos: Frenos, cambios automáticos, basculación de la carga, direcciones asistidas.

Grúas, excavadoras: Movimientos de subida y bajada de las plumas, cucharas, apoyos.

Prensas: Movimiento de los carros, producción de grandes fuerzas de prensado.

Instalaciones mineras: Entibación hidráulica (estemples).

Aviones: Movimiento de los trenes de aterrizaje, timones, estabilizadores.

Ventajas: Gran multiplicación de la fuerza (prensas), regulación de la velocidad sin escalonamiento (avances), gran precisión de mando y ajuste, posibilidad de salvar grandes distancias entre la unidad de accionamiento y la unidad de trabajo, gran movilidad merced a las uniones mediante tubería flexible, arranque desde parada con carga máxima, suavidad de funcionamiento.

Fundamentos físicos

Hidrostática

Hidro = agua = fluído
Estática = reposo
Hidrostática = leyes de los fluidos en reposo.



Figura 4-34. Pala cargadora con articulación hidráulica.

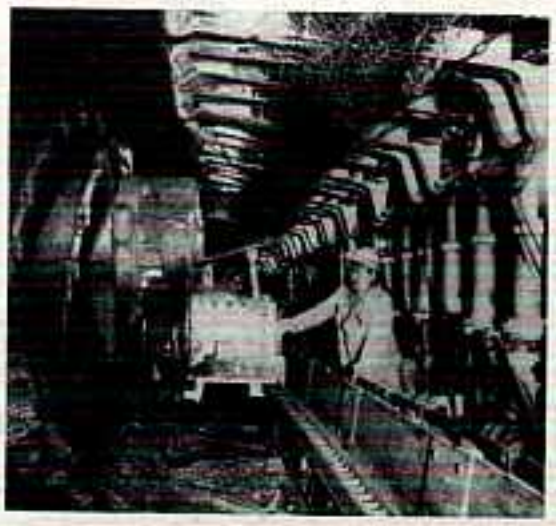


Figura 4-35. Entibación hidráulica de galería.

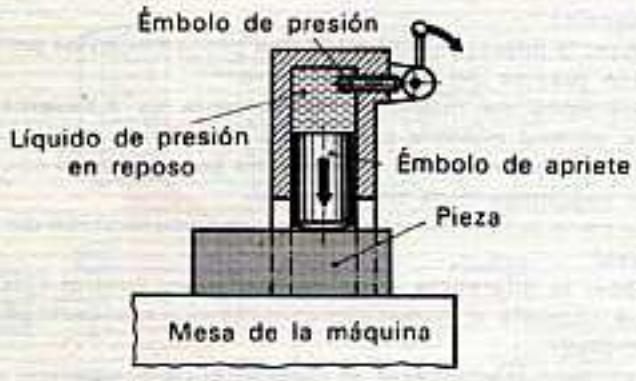


Figura 4-36. Instalación hidrostática (dispositivo de sujeción).

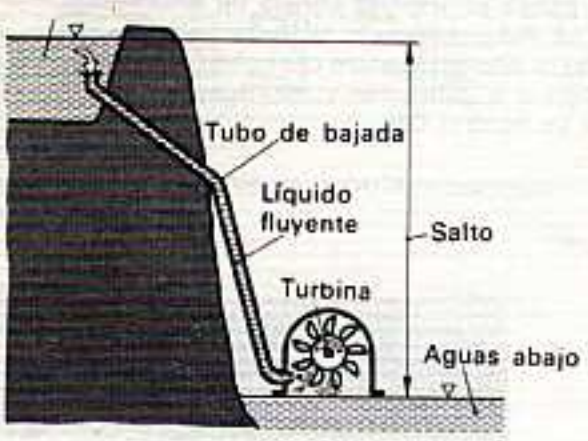


Figura 4-37. Instalación hidrodinámica (turbina de agua).

Cuando el fluido que se encuentra en el interior de un sistema cerrado de recipientes y tuberías se pone bajo presión en un lugar cualquiera mediante la aplicación de una fuerza, esta energía de presión puede tomarse de nuevo como fuerza en cualquier otro lugar del sistema. Cuando deba realizarse un trabajo en el lugar de toma, ha de fluir líquido del sistema, pues trabajo es igual a fuerza por espacio. Así pues, en una instalación hidráulica se cumplen también algunas leyes de la hidrodinámica.

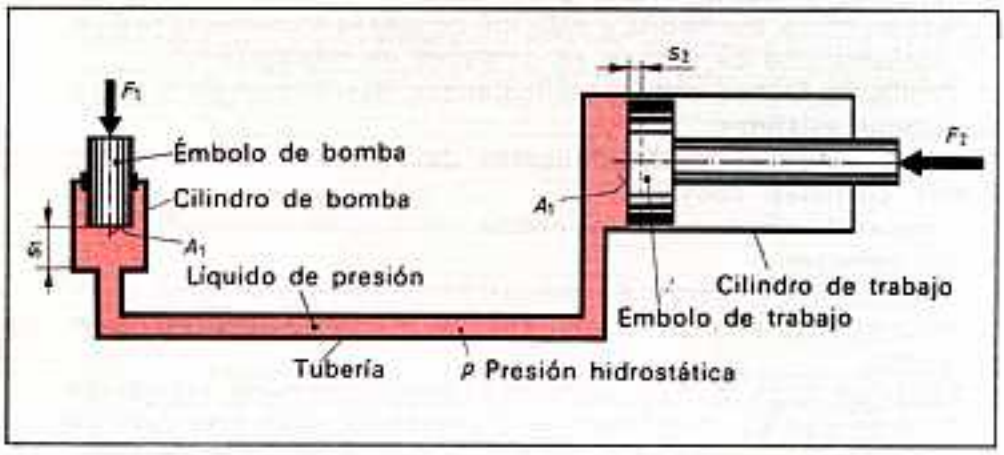
Hidrodinámica

Hidro = agua = fluido
Dinámica = movimiento
Hidrodinámica = leyes de los fluidos en movimiento.

En un sistema abierto de recipientes y tuberías, un fluido adquiere una velocidad de flujo muy alta si la altura de caída es grande. En el extremo de la tubería, la energía cinética puede transformarse en trabajo mecánico, por ejemplo, en movimiento de rotación.

Una instalación será hidrostática o dinámica según el tipo de transmisión de energía: hidrostática = energía de presión, hidrodinámica = energía cinética. Así pues, las instalaciones hidráulicas, aunque el líquido fluye y por consiguiente se rigen por algunas leyes de la hidrodinámica, pertenecen a las instalaciones hidrostáticas, porque la transmisión de energía se efectúa **principalmente** mediante energía de presión.

En este sistema hidrostático hay equilibrio porque las magnitudes de las fuerzas F_1 y F_2 son directamente proporcionales a las magnitudes de las áreas A_1 y A_2. En este caso reina en el líquido la presión p. Para que el émbolo de trabajo realice el desplazamiento s_2 el émbolo de bomba ha de efectuar el recorrido s_1.



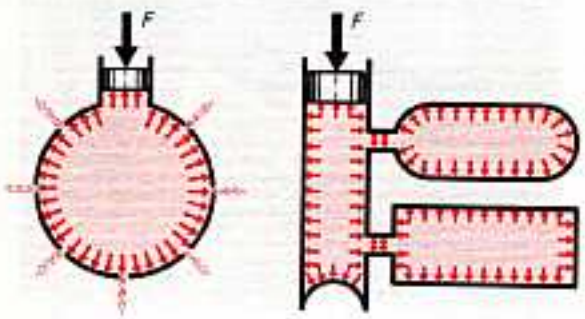


Figura 4-38. Propagación de la presión.

Propagación de la presión

Si se ejerce una presión en un punto cualquiera de un líquido dentro de un sistema cerrado, la totalidad del líquido estará a la misma presión. Las fuerzas que se producen como consecuencia de ello actúan siempre en sentido normal (en ángulo recto) a las paredes del recipiente. Esta es la razón de que los recipientes de presión tengan el fondo abombado hacia afuera o hacia dentro por motivos de seguridad: aerosoles, calderas de vapor, botellas de vino espumoso, botellas de oxígeno.

Multiplicación de fuerza

Cuando a través del émbolo 1 con el área A_1, actúa una fuerza F_1 sobre un líquido, se produce en éste la presión p. La presión del líquido es la fuerza con que el mismo actúa sobre 1 cm² de la superficie de la carcasa y del émbolo.

$$p=\frac{F_1}{A_1}$$

Esta presión actúa también sobre el área A_2 del émbolo 2, más grande, que está bajo la acción del líquido. Sólo podrá mantenerse el equilibrio, o lo que es igual, sólo podrá actuar la fuerza F_2, cuando en el émbolo 2 actúe una reacción F_2 de magnitud correspondiente.

$$p=\frac{F_1}{A_1} \quad p=\frac{F_2}{A_2} \quad p=p \quad \text{o sea} \quad \frac{F_1}{A_1}=\frac{F_2}{A_2}$$

$F_1:F_2=A_1:A_2$ — Fuerzas y áreas son directamente proporcionales

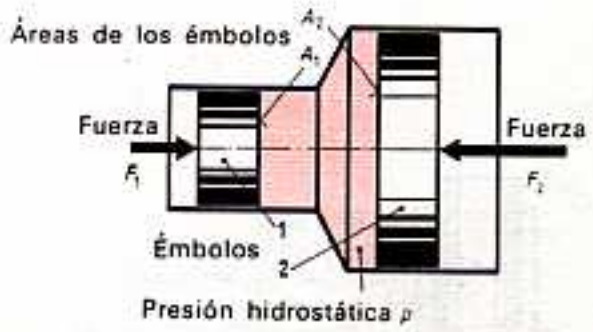


Figura 4-39. Multiplicación de fuerza.

Multiplicación del recorrido

Según la regla de oro de la mecánica, lo que se gana en fuerza se pierde en recorrido:
Trabajo = fuerza por espacio $W_1=F_1\cdot s_1$ $W_2=F_2\cdot s_2$
W_1 en el émbolo 1 = W_2 en el émbolo 2 $F_1\cdot s_2=F_2\cdot s_2$

$F_1:F_2=s_2:s_1$ — Fuerzas y áreas son inversamente proporcionales.

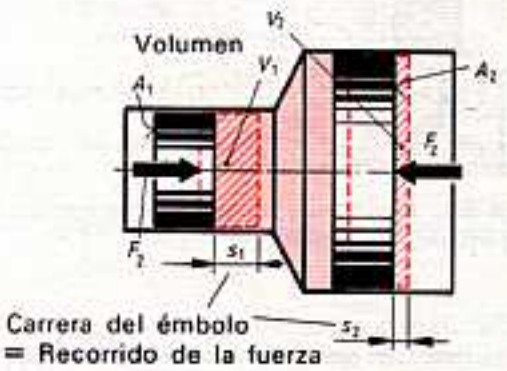


Figura 4-40. Multiplicación del recorrido.

Multiplicación de la presión

Cuando en el lado primario del émbolo diferencial actúa la presión del líquido p_1 sobre el área del émbolo A_1, se produce en el émbolo la fuerza F_1, $F_1 = p_1 \cdot A_1$.

Para que haya equilibrio debe ser $F_1 = F_2$. Pero en el lado secundario el área de émbolo A_2 es más pequeña y así pues la presión p_2 tiene que ser mayor.

$$F_1=F_2; \qquad p\cdot A_1=p_2\cdot A_2$$

$p_1:p_2=A_1:A_2$ — Presiones y áreas son inversamente proporcionales

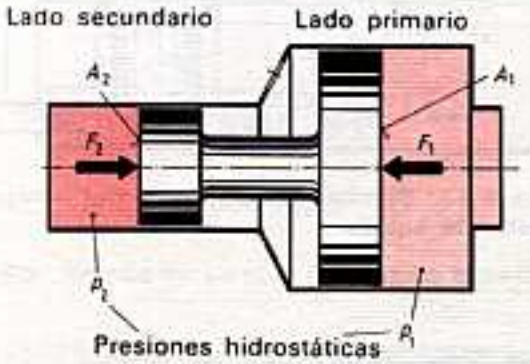
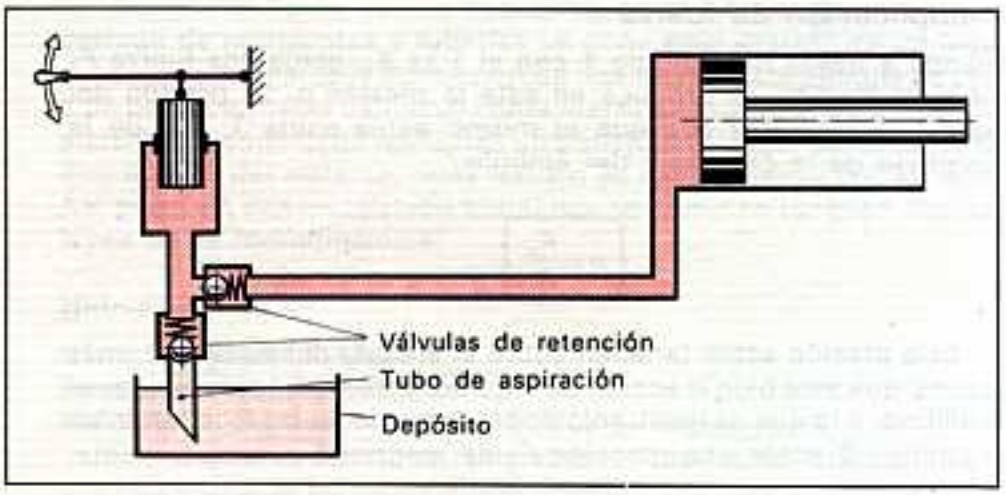


Figura 4-41. Multiplicación de la presión.

PRINCIPIO DEL DESPLAZAMIENTO VOLUMÉTRICO EN LAS BOMBAS

Si un émbolo de trabajo ha de efectuar un recorrido largo, por ejemplo para elevar una carga a una altura determinada, el émbolo tendrá que realizar varias veces su carrera. La instalación lleva entonces un depósito para más aceite, dos válvulas de retención (que obligan a que el aceite se desplace en un solo sentido), y una tubería para aspirar el líquido.



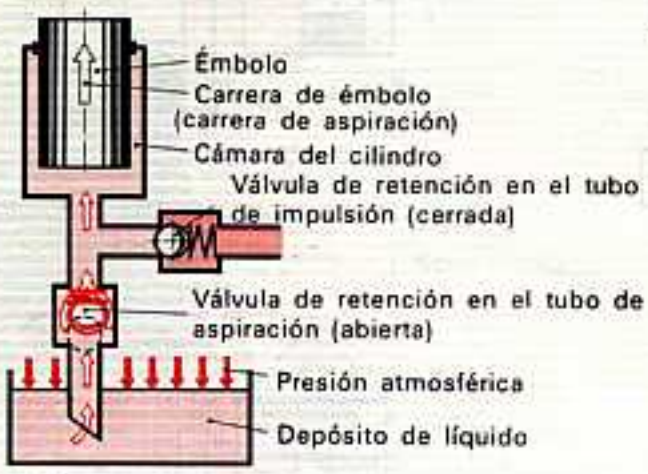


Figura 4-42. Funcionamiento de una bomba de desplazamiento volumétrico.



Figura 4-43. Bomba volumétrica en el interior del depósito de líquido.

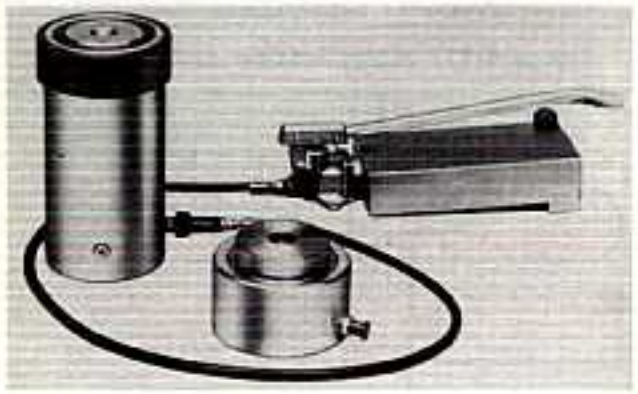


Figura 4-44. Gato hidráulico con bomba manual.

Funcionamiento de una bomba de desplazamiento volumétrico

Al subir el émbolo, debido al aumento de volumen se produce en el cilindro de la bomba una depresión, es decir, una presión menor que la atmosférica. Pero la presión atmosférica actúa sobre la superficie del líquido que hay en el depósito haciéndolo pasar por el tubo de aspiración a la cámara del cilindro. La corriente de líquido ascendente hace que se abra la válvula de retención que hay en el tubo de aspiración, levantándose la bola contra una ligera fuerza de muelle, o contra su propio peso.

Si se presiona ahora hacia abajo el émbolo de la bomba, el líquido se ve obligado a salir, es decir, se desplaza. Como la válvula que hay en el tubo de aspiración está cerrada porque la bola descansa en su asiento, el líquido a presión sólo encuentra salida por la válvula de retención que hay en el tubo de presión, la cual se abre y deja que el líquido fluya hacia el cilindro de trabajo. En las construcciones compactas el cilindro y las válvulas se hallan por debajo del nivel del líquido, de manera que éste afluye a la cámara del cilindro.

Presión hidrostática

La presión hidrostática se indica en «bar». Un bar corresponde al efecto de una fuerza de 10 N sobre una superficie de 1 cm^2.

$$1\ \text{bar} = \frac{10\ \text{N}}{1\ \text{cm}^2} = \frac{1\ \text{daN}}{1\ \text{cm}^2} \qquad \boxed{p = \frac{F}{A}}$$

Ejemplo: Un émbolo de bomba tiene un área de 1,5 cm^2 y ejerce sobre el líquido una fuerza de 500 N. ¿Cuál será la presión hidrostática?

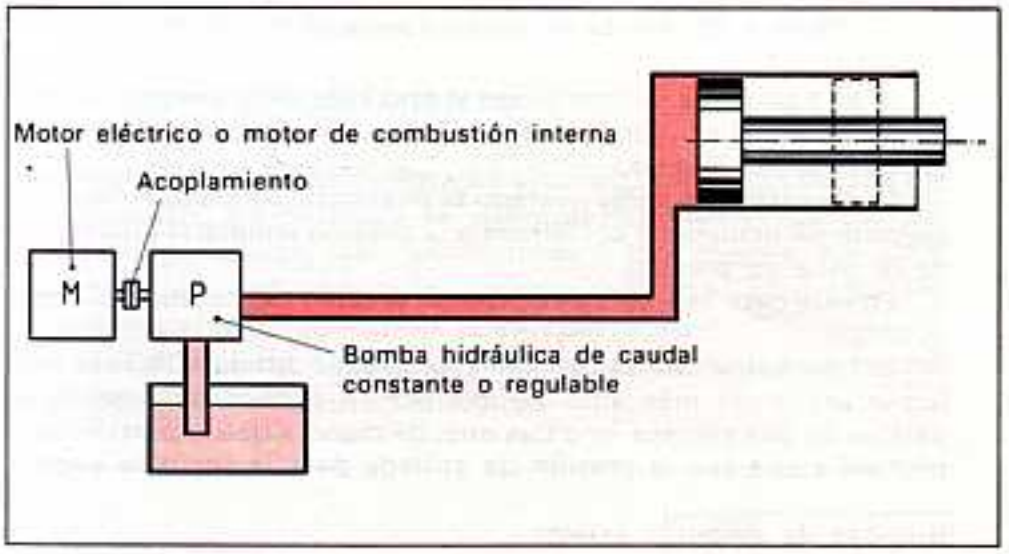
$$p = \frac{F}{A} = \frac{500\ \text{N}}{1{,}5\ \text{cm}^2} = \frac{50\ \text{daN}}{1{,}5\ \text{cm}^2} = \underline{33{,}3\ \text{bar}}$$

Gato hidráulico

Esta sencilla instalación hidráulica se emplea en los gatos. Con la bomba de mano se producen presiones de hasta 250 bar. El cilindro tiene alturas de elevación de hasta aproximadamente 200 mm. Pueden alcanzarse fuerzas de elevación de hasta 5000 kN. Los gatos son apropiados, entre otras cosas, para ajustar piezas de puentes y encarrilar locomotoras salidas de las vías, etc.

BOMBAS HIDRÁULICAS

Las instalaciones hidráulicas que requieren una corriente de líquido que fluya constantemente, tienen siempre bombas cuyo caudal o permanece constante o es variable. Son bombas de desplazamiento volumétrico que, accionadas por motores eléctricos o de otro tipo, producen una corriente de caudal casi constante mediante varios émbolos u otros elementos de desplazamiento.



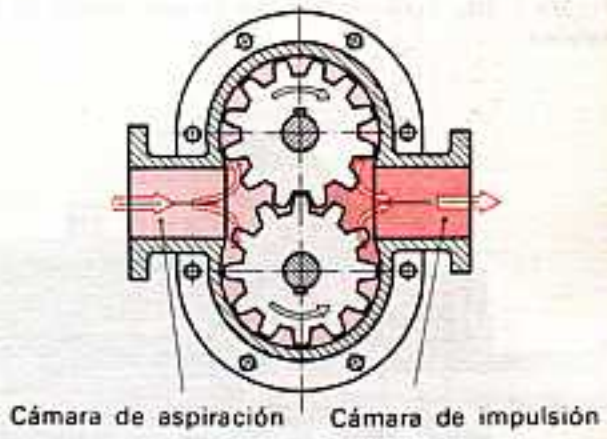


Figura 4-45. Bomba de engranajes.

Además de las bombas representadas, hay una serie de bombas de construcción diversa, que se emplean menos.

Bomba de engranajes. El líquido es arrastrado por los huecos de diente de las ruedas dentadas, desde la cámara de aspiración a la cámara de impulsión. El desplazamiento del líquido en la cámara de impulsión se efectúa debido a que los huecos de diente de cada rueda se van rellenando recíprocamente por los dientes de la rueda contraria. Se consiguen presiones de hasta 200 bar. El caudal no puede variarse si el número de revoluciones de accionamiento permanece constante.

Bombas de paletas. El espacio que queda entre la carcasa circular y el rotor, que es más pequeño, se subdivide en celdas o cámaras de bomba mediante placas desplazables radialmente denominadas paletas. Las paletas ajustan en ranuras del rotor y se aprietan contra la pared de la carcasa mediante muelles o presión hidrostática.

En la **ejecución en anillo excéntrico** el centro del rotor está dispuesto excéntricamente respecto al anillo de la carcasa, de tal modo, que al girar el rotor, las celdas van haciéndose mayores en un lado (lado de aspiración) y más pequeñas en el otro (lado de impulsión). El líquido se desplaza desde estas últimas. El caudal depende de la mágnitud de la excentricidad. En algunas bombas ésta puede regularse, con lo cual varía el caudal de la bomba. Dichas bombas reciben el nombre de bombas de caudal variable (ver la fig. 4-47).

e grande	caudal grande
e pequeña	caudal pequeño
$e = 0$	no se transporta líquido

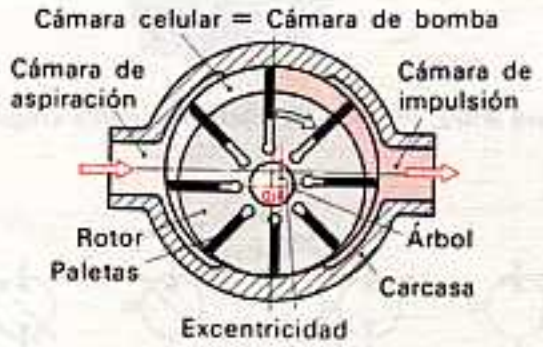


Figura 4-46. Bomba de paletas (con anillo excéntrico).

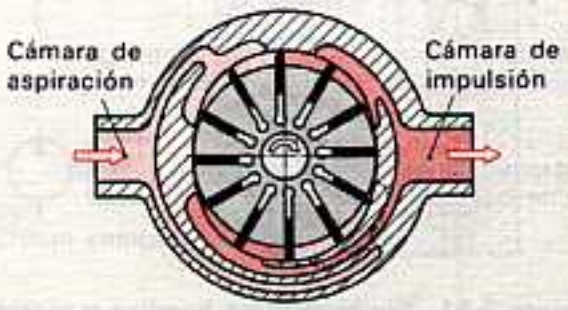


Figura 4-47. Bomba de paletas (con anillo ovalado).

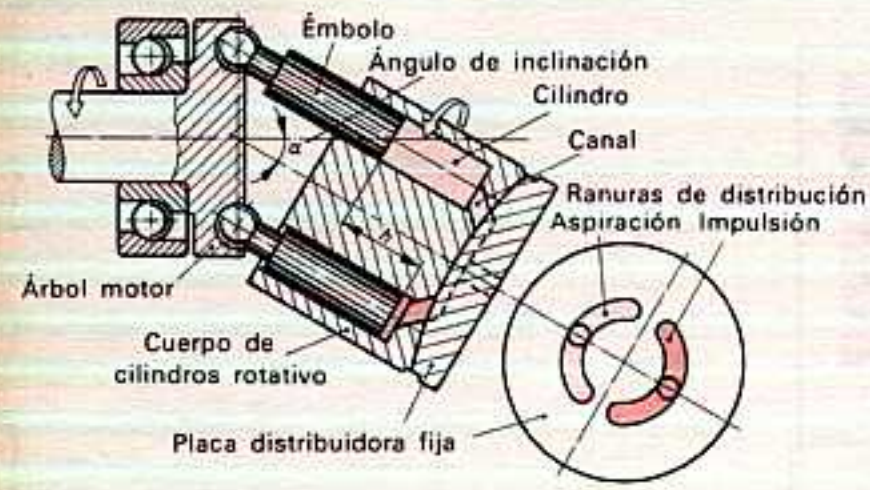


Figura 4-48. Funcionamiento de una bomba de émbolos axiales.

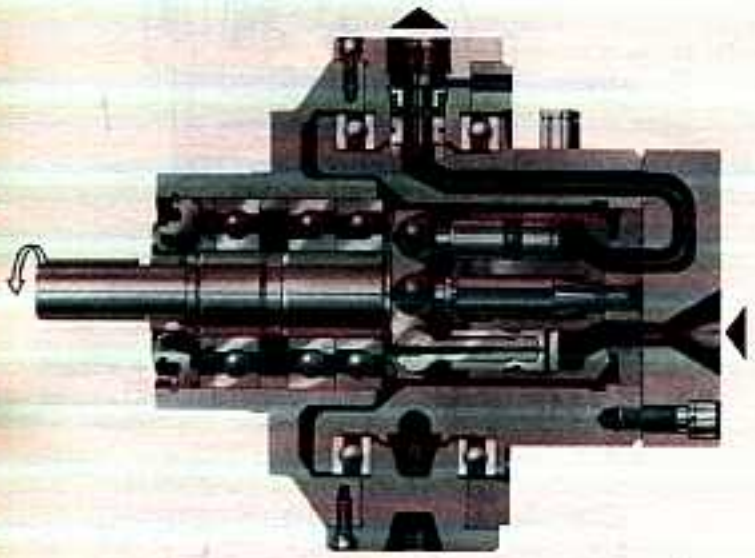


Figura 4-50. Bomba de caudal variable (regulable).

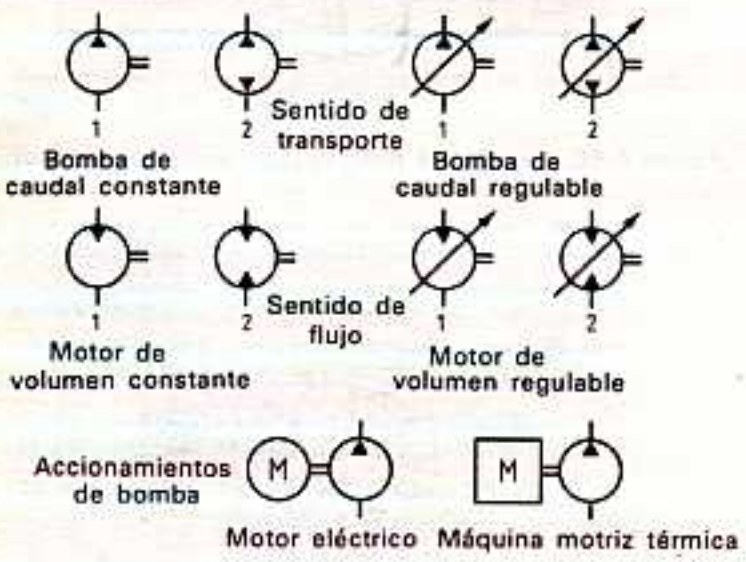


Figura 4-51. Símbolos para bombas y motores hidráulicos.

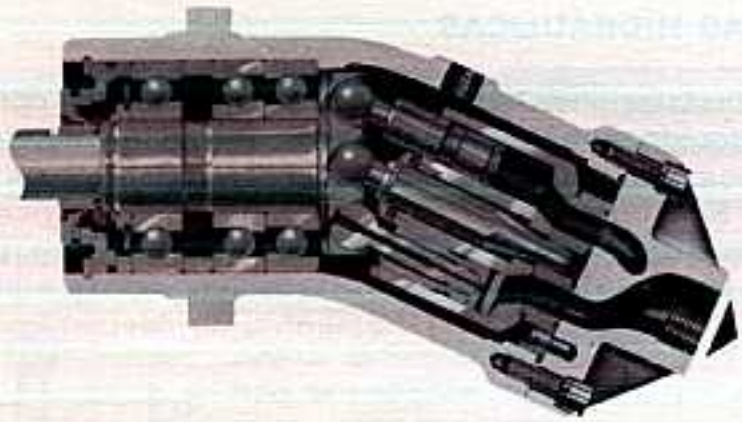


Figura 4-49. Bomba de caudal constante.

Si se traslada la excentricidad al otro lado de la carcasa, sin que se modifique el sentido de rotación del rotor, cambia el sentido de circulación del líquido.

La **ejecución en anillo ovalado** se desarrolló para que el rotor y su cojinete no estuvieran sometidos a la presión unilateral procedente de la zona de presión.

En este caso se aspira o se produce presión hidrostática en zonas opuestas.

Con estas bombas se consiguen presiones de hasta 250 bar. Para lograr presiones más altas se montan en serie dos unidades de paletas en una carcasa, una tras otra, de manera que la presión de la primera etapa sea la presión de entrada para la segunda etapa.

Bombas de émbolos axiales

La construcción fundamental viene dada por el árbol de transmisión, cinco, siete o nueve émbolos; un bloque con cilindros y una placa distribuidora. Los émbolos tienen alojadas sus cabezas esféricas en el árbol de transmisión de forma que pueden girar, y sus partes cilíndricas en los cilindros correspondientes del bloque. El árbol de transmisión y el bloque de cilindros giran alrededor de sus ejes formando entre sí un determinado ángulo α de manera que los émbolos efectúen cierta carrera en los cilindros. La longitud de carrera h se reduce si disminuye el ángulo de inclinación α. Al girar el bloque de cilindros, los canales de estos pasan sobre las ranuras de distribución de la placa de distribución, fija, y de este modo se comunican alternativamente con el conducto de aspiración o con el de impulsión.

En las **bombas de caudal constante** las partes de la bomba se encuentran en una carcasa que no permite regular el ángulo de inclinación. El caudal es siempre el mismo, es decir, constante. Las bombas de émbolo axiales en su configuración como **bomba de caudal variable** proporcionan caudales comprendidos entre 0 cuando $\alpha = 0$ y un valor máximo con ángulo de inclinación α máximo. La fotografía de la fig. 4-50 muestra la bomba regulable en sección, vista desde arriba. La salida del líquido a presión se efectúa por el eje articulado. La entrada puede realizarse a través de una corta tubuladura de aspiración cuando la bomba se halla por debajo del nivel del líquido; ha de efectuarse por el eje articulado cuando la bomba está dispuesta por encima del nivel del líquido y aspira a través de un tubo.

Motores hidráulicos

Si se alimenta líquido a presión por el lado de impulsión a los tipos de bombas descritos anteriormente, actúan como motores y entregan movimiento de rotación, por ejemplo, para accionar vehículos o varillajes de sondeo.

Símbolos

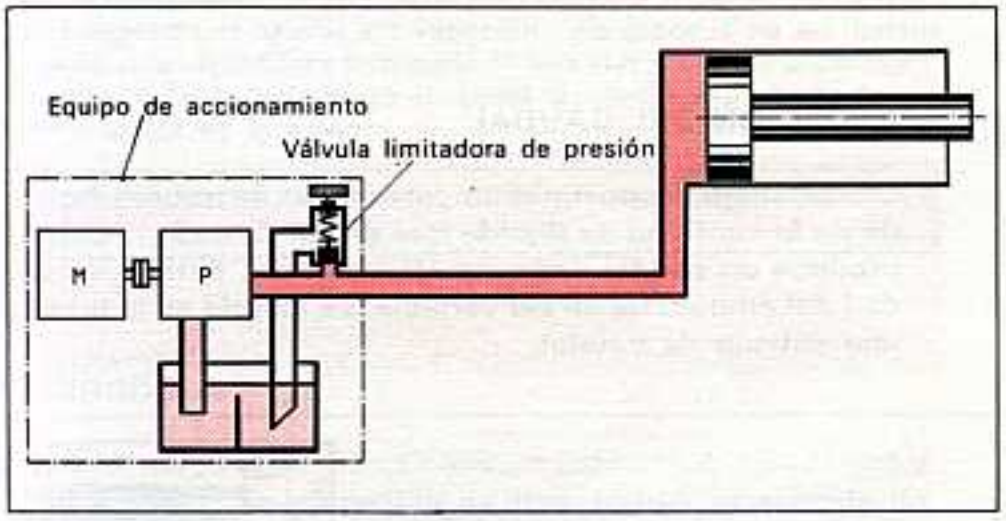
En los planos de montaje para instalaciones hidráulicas se emplean símbolos para representar los aparatos hidráulicos, según la norma DIN 24300.

Símbolos para las bombas y los motores hidráulicos.

Las bombas o motores se representan como círculos, con un trozo del árbol de accionamiento o del árbol de salida y dos conexiones de tubería. Los triángulos llenos indican el sentido de circulación del líquido. Las flechas largas y oblícuas significan posibilidad de regulación. Las bombas pueden accionarse por medio de motores eléctricos o de combustión.

EQUIPO DE ACCIONAMIENTO

Con una válvula limitadora de presión dispuesta detrás de la bomba, se protege la instalación hidráulica contra presiones excesivas del líquido. Esta válvula se abre cuando se sobrepasa la presión máxima. El motor de accionamiento, la bomba, la válvula limitadora de presión y el depósito de líquido suelen estar montados en forma compacta, formando un equipo.



Válvula limitadora de presión

Consta fundamentalmente del cuerpo 1, el husillo de regulación 2, el muelle 3 y el cono de válvula 4. La válvula permanece cerrada en tanto la fuerza F_1 es el producto de multiplicar la presión del líquido p que hay en la tubería de presión P por el área A sometida a la acción del líquido.

$$F_1 = p \cdot A$$

Si aumenta la presión del líquido p de manera que F_1 sea mayor que F_2, se abre la válvula y el líquido puede fluir a la tubería de retorno R hasta que desciende la presión y la fuerza de retroceso del muelle cierra de nuevo la válvula. Cuando el aumento de presión tiene lugar muy rápidamente, la válvula no reacciona de inmediato, por lo que pueden producirse «picos de presión» en la instalación. Mediante el husillo de regulación puede modificarse la fuerza de retroceso del muelle y con ello el valor de la presión que abre la válvula.

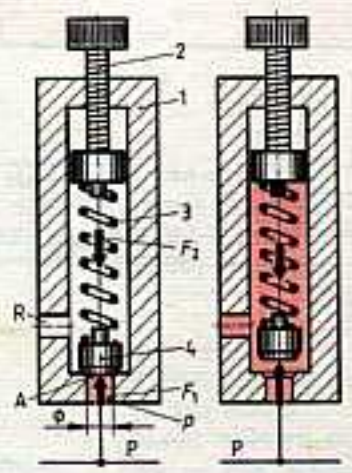


Figura 4-52. Válvula limitadora de presión.

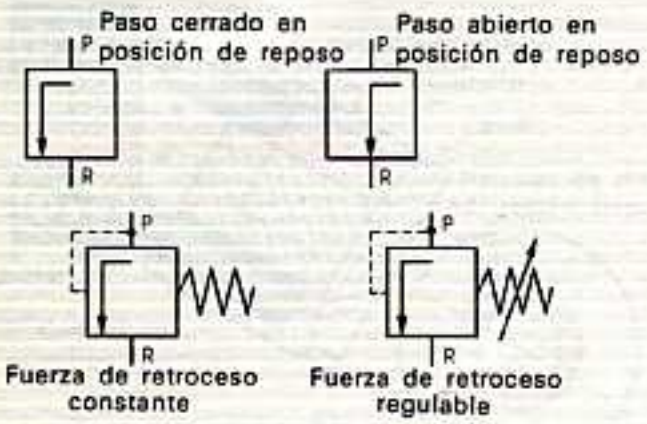


Figura 4-53. Símbolos de válvulas de presión.



Figura 4-54. Equipo de accionamiento.

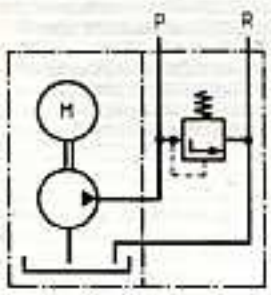


Figura 4-55. Esquema.

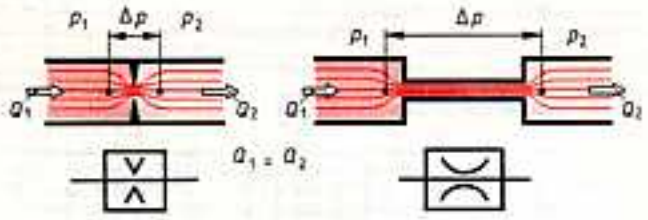


Figura 4-56 Válvula de diafragma. Símbolo (izda.)
Figura 4-57. Válvula estranguladora. Símbolo (dcha.)

Símbolos para válvulas de presión

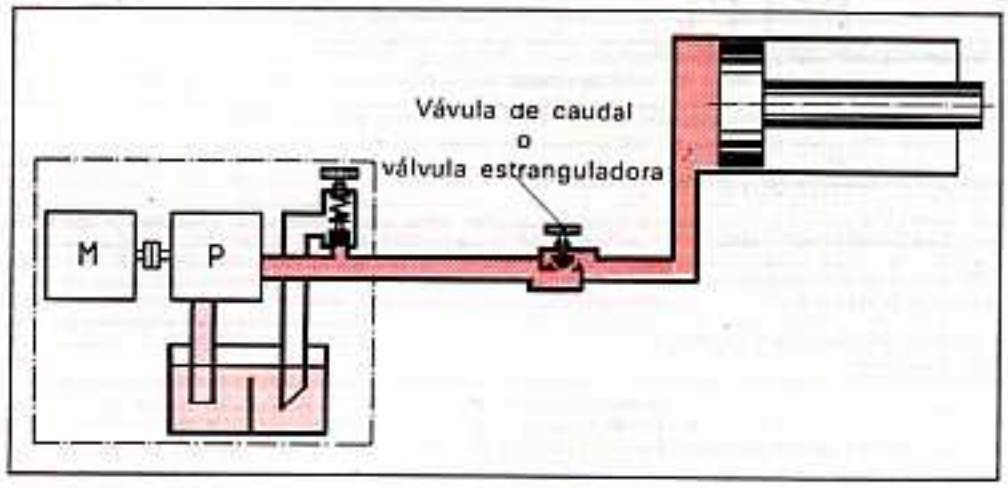
La forma fundamental es un cuadrado con las dos conexiones *P* = tubería de presión y R = tubería de retorno. La flecha dibujada en el interior del cuadrado indica el sentido de paso. Si la flecha se encuentra fuera del centro, quiere decir que en la posición de reposo (posición 0, posición de montaje) está cerrado el paso y no se abre hasta que actúa una fuerza. En la segunda representación contigua sucede lo contrario. De los símbolos que se encuentran debajo, el de la izquierda muestra una válvula limitadora de presión con fuerza de muelle constante y el de la derecha con fuerza de muelle regulable. La línea de trazos indica que la fuerza que actúa en contra del muelle proviene de la tubería de presión.

Equipo de accionamiento

La foto muestra un equipo de accionamiento de construcción cerrada y estacionaria. Para instalaciones pequeñas, por ejemplo, para útiles de sujeción hidráulicos para piezas a mecanizar en las mesas de las máquinas, existen también equipos portátiles. El esquema representado junto a la foto muestra con símbolos la constitución del equipo. El que no pase ninguna flecha por el muelle de la válvula limitadora de presión, significa que esta instalación está diseñada de antemano para una presión determinada. El **depósito de líquido**, además de disponer de líquido suficiente, debe también enfriarlo y mantenerlo exento de inclusiones de aire, compensar el volumen del mismo cuando se calienta y poder limpiarse por sedimentación de las sustancias en suspensión.

REGULACIÓN DEL CAUDAL

La velocidad de movimiento del émbolo de trabajo depende de la cantidad de líquido que entra. Cuando la bomba produce un caudal uniforme (*Q* en l/min), pero la velocidad del émbolo ha de ser variable, se instala en la tubería una válvula de caudal.



Válvulas de caudal

Existen dos formas posibles de estrechar la sección transversal: un **diafragma** de aristas vivas o un estrangulador tubular. Mediante el estrechamiento se produce una resistencia por fricción, transformándose energía de presión en energía térmica, lo cual se manifiesta como caída de presión en p_2. La diferencia de presión entre p_1 y p_2 se

denomina **diferencia de presión** y se designa con Δp (delta). Junto con la sección transversal del diafragma o del estrangulador y la viscosidad del líquido a presión, es sobre todo la **diferencia de presión la que determina la magnitud del caudal** en el tramo de tubería considerado. Puede decirse que una pequeña diferencia de presión origina un pequeño caudal y viceversa.

Con la **válvula de caudal regulable** puede hacerse variar la sección transversal en el lugar de la estrangulación y con ello el caudal que circula de P a A (tubería de trabajo). Pero en cuanto aumenta la presión p_2 debido al aumento de la carga en el cilindro de trabajo, se reduce la diferencia de presión Δp, y disminuye el caudal y la velocidad del cilindro de trabajo. Por lo tanto, esta sencilla construcción sólo puede emplearse cuando la carga de trabajo es aproximadamente constante.

La **válvula reguladora de caudal de dos vías** mantiene constante Δp y con ello también el caudal, debido a que lleva incorporada una balanza de presión diferencial. La válvula tiene dos lugares de estrangulación D_1 y D_2. La presión se reduce en dos etapas, $p_1 \rightarrow p \rightarrow p_2$. Función de la balanza: Cuando asciende p_2 en el cilindro de trabajo debido a un mayor trabajo, aumenta brevemente también la presión p. El émbolo-balanza abre por el lado del muelle el lugar de estrangulación D_2 hasta que se restablece la diferencia de presión primitiva Δp entre p_1 y p. La fuerza del muelle F_1 y p en el lado derecho del émbolo, retienen la balanza con p_1 en el lado izquierdo.

De este modo ha aumentado p_1, con lo cual se ha establecido de nuevo la diferencia de presión Δp ajustada primitivamente, de p_1 a p_2, permaneciendo el caudal sin variación.

La **válvula reguladora de caudal de tres vías** reduce la presión en una etapa, $p_1 \rightarrow p_2$, y descarga el caudal excedente a la tubería de retorno a través de la balanza.

> Las válvulas reguladoras de caudal originan pérdidas de potencia.

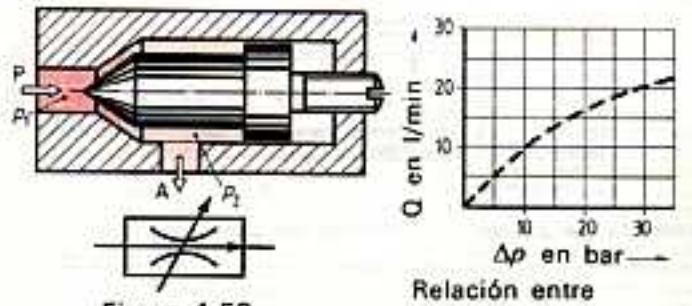


Figura 4-58.
Válvula de caudal regulable.

Relación entre caudal y diferencia de presión

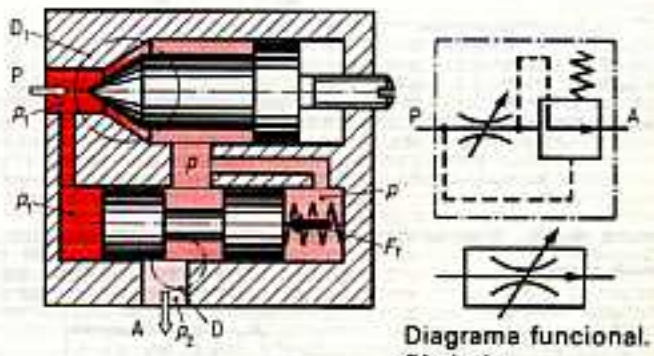


Diagrama funcional.
Símbolo

Figura 4-59. Válvula reguladora de caudal de 2 vías.

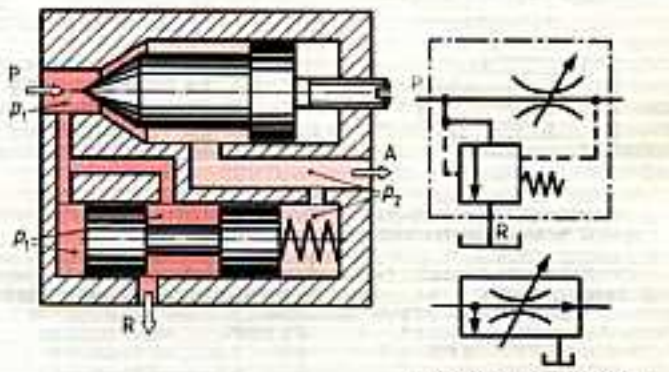


Diagrama funcional.
Símbolo

Figura 4-60. Válvula reguladora de caudal de 3 vías.

CILINDROS

Los cilindros hidráulicos constan del cuerpo del cilindro y del émbolo. Su cometido es transformar la energía de presión del líquido en energía mecánica. Ejecutan un movimiento rectilíneo. Todas las formas de construcción de los cilindros hidráulicos pueden reducirse a dos formas básicas: cilindros de simple efecto y cilindros de doble efecto.

Cilindros de simple efecto

En este tipo de construcción sólo queda sometido a la acción del líquido a presión un lado del émbolo. Por consiguiente, sólo se ejerce fuerza en un sentido. Cuando el émbolo alcanza la posición final de la carrera, ha de volver a su posición de partida mediante una fuerza externa (su propio peso cuando se trata de una disposición vertical, muelles de retroceso, etc.). En este caso ha de poder salir el líquido de la cámara del cilindro.

La fuerza F producida en el vástago del émbolo se calcula multiplicando la presión del líquido p por el área del émbolo A. Se desprecian las pérdidas de rozamiento.

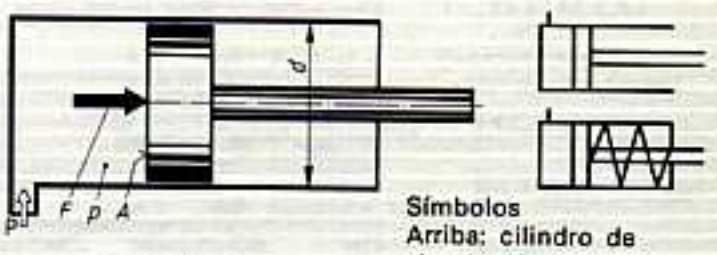


Figura 4-61.
Cilindro de simple efecto.

Símbolos
Arriba: cilindro de simple efecto
Abajo: cilindro de simple efecto con muelle de retroceso

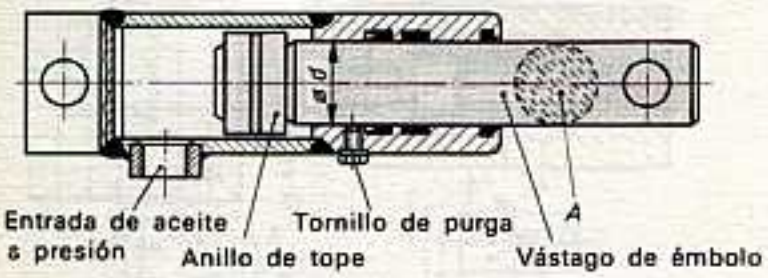


Figura 4-62. Ejecución constructiva de un cilindro de simple efecto.

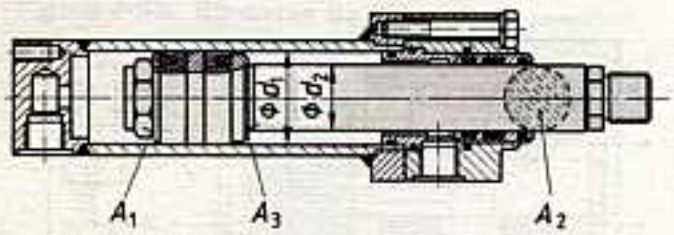


Figura 4-64. Ejecución constructiva de un cilindro de doble efecto.

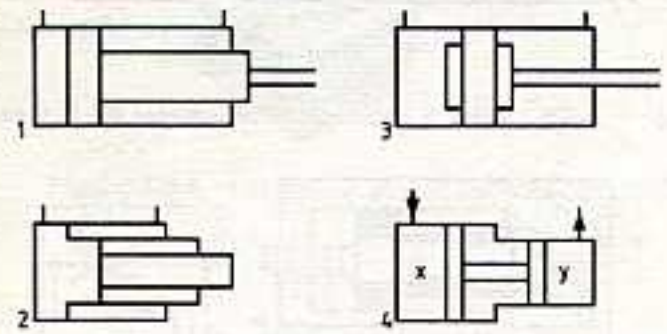


Figura 4-65. Símbolos para cilindro.
1 diferencial
2 telescópico
3 con amortiguación
4 multiplicador de presión

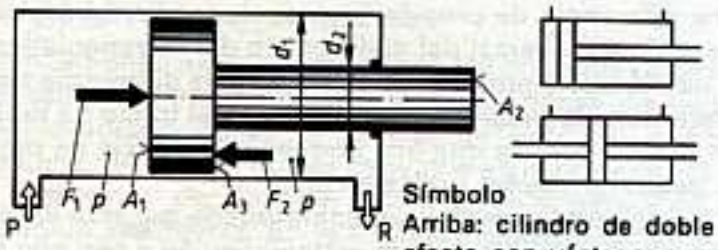


Figura 4-63.
Cilindro de doble efecto.

Símbolo
Arriba: cilindro de doble efecto con vástago en un lado
Abajo: cilindro de doble efecto con vástago en ambos lados

$F = p \cdot A$

Ejemplo: $p = 60$ bar
$A = 15$ cm²
$F = p \cdot A = 60$ bar $\cdot 15$ cm²
$= 60 \frac{10\ \text{N}}{\text{cm}^2} \cdot 15\ \text{cm}^2 = 600 \cdot 15 = \underline{9000\ \text{N}}$

Cilindros de doble efecto

Las áreas A_1 y A_3 del émbolo quedan alternativamente sometidas a la acción del líquido a presión, es decir que el émbolo retrocede a presión a la posición de partida. En los cilindros de construcción sencilla, que llevan **vástago de émbolo sólo en un lado**, tanto las fuerzas como las velocidades son diferentes en la ida y en el retroceso, aun siendo iguales la presión del líquido y el caudal. Durante la ida se impulsa el área de émbolo A_1 más grande, con lo cual la fuerza del émbolo es mayor. En cambio, la velocidad de ida es menor porque con el mismo caudal ha de llenarse una cámara de cilindro más grande. Durante el retroceso sucede exactamente lo contrario; el área de émbolo A_3 es sólo el área de una corona circular, menor que el área A_1 en la cuantía de la sección transversal del vástago de émbolo A_2. La cámara del cilindro en el lado de vástago de émbolo es más pequeña en la cuantía del volumen del vástago, y por tanto se llena más rápidamente, o lo que es igual, el émbolo ha de desplazarse más rápidamente. En los cilindros **de émbolo con vástago a ambos lados**, las fuerzas y las velocidades son iguales en ambos sentidos.

Tipos de construcción especiales

Los símbolos contiguos representan:

1 Cilindro diferencial. En este caso se alude especialmente a la relación de A_1 a A_3 y con ello a la relación de fuerzas y velocidades.

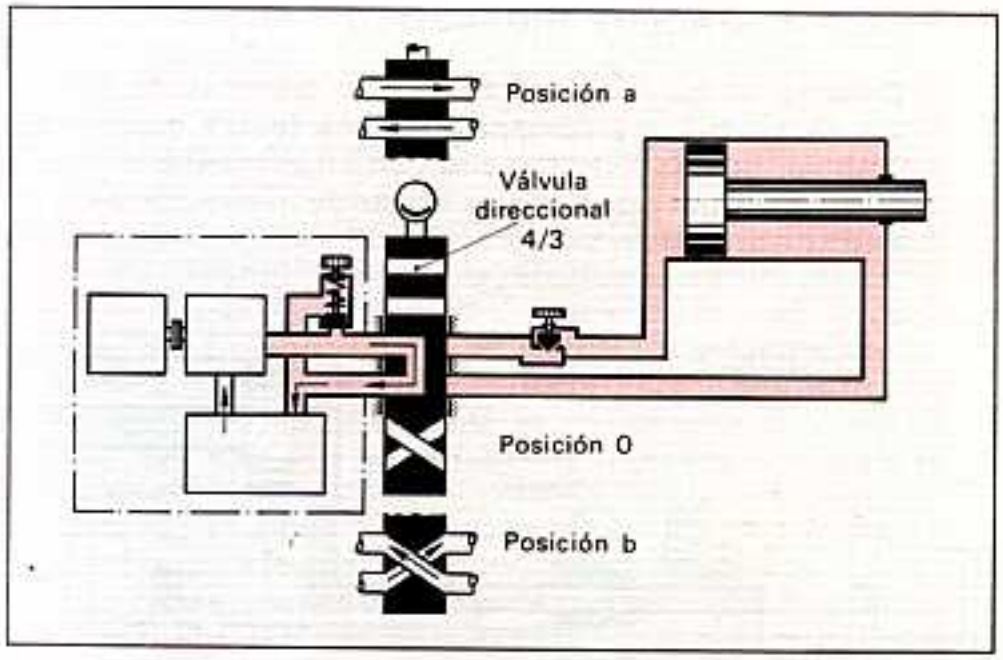
2 Cilindro telescópico. Los émbolos, guiados unos dentro de otros, proporcionan una longitud de carrera relativamente grande con una pequeña altura de construcción del cilindro. Se emplean frecuentemente en gatos elevadores.

3 Cilindro con amortiguación. Es un dispositivo especial en el que unos cojines de muelles o líquido impiden que el émbolo choque con dureza en las posiciones finales.

4 Los multiplicadores de presión son asimismo cilindros, con los que se producen presiones máximas.

VÁLVULAS DIRECCIONALES

Una vez instalado un cilindro de doble efecto, ha de conducirse el flujo de líquido alternativamente a uno y otro lado del émbolo por medio de una válvula direccional.



Cuando la válvula está en la posición 0, el líquido retorna al depósito, el émbolo se encuentra inmóvil. En la posición a el líquido fluye hasta detrás del émbolo, impulsa a éste hacia afuera y la cantidad de líquido que hay delante del émbolo retorna al depósito. En la posición b el ciclo es a la inversa.

Las **válvulas direccionales** más empleadas son las de émbolo. Los símbolos muestran las conexiones la circulación y las posiciones del émbolo o vías. El número de conexiones y el de vías determinan la denominación de la válvula. El primer número indica las conexiones y el segundo las vías. Válvula direccional 3/2 significa: válvula con tres conexiones y dos vías.

Valvula direccional 2/2. Las dos conexiones P (tubería de presión) y A (tubería de trabajo) tienen circulación (están abiertas) en la posición a y no lo tienen en la posición b.

Válvula direccional 3/2. Tres conexiones con dos vías. La conexión B es otra tubería de trabajo. En la posición A hay paso de P a B, en la posición b hay paso de P a A.

Válvula direccional 4/2. Cuatro conexiones y dos vías. Por la conexión R retorna al depósito el reflujo del aparato de trabajo (cilindro de doble efecto o motor hidráulico).

Válvula direccional 4/3. Cuatro conexiones y tres vías. La posición 0 bloquea las tuberías de trabajo y deja que el líquido de presión retorne al depósito, mientras que las tuberías de trabajo A y B están cerradas, de manera que en estas tuberías no se efectúa ningún movimiento.

Accionamiento de las válvulas. Los émbolos de las válvulas pueden desplazarse a mano. El accionamiento por palanca manual se utiliza, por ejemplo, en las máquinas de obras públicas. El retorno del émbolo de distribución a su posición de partida, se efectúa mediante fuerza de muelle. El desplazamiento electromagnético se emplea en máquinas herramienta de control electrohidráulico. Cuando el desplazamiento se efectúa mediante una tubería de mando, se emplea el líquido a presión del propio sistema. Los émbolos distribuidores tienen entonces adosados un cilindro de accionamiento a la derecha y otro a la izquierda, por medio de los cuales se desplazan.

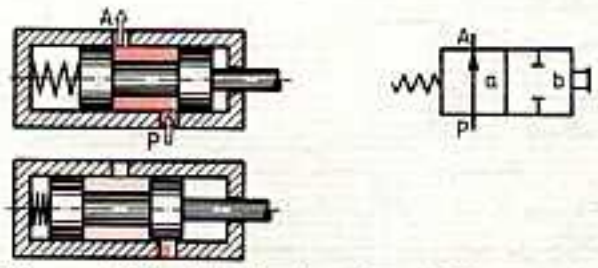


Figura 4-66. Válvula direccional 2/2 con símbolo.

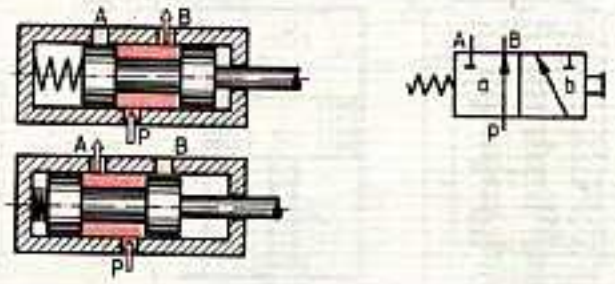


Figura 4-67. Válvula direccional 3/2 con símbolo.

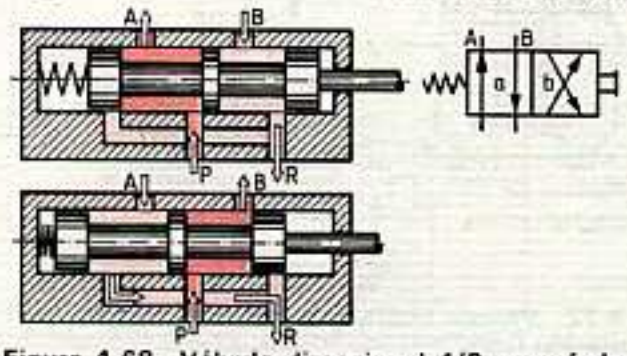


Figura 4-68. Válvula direccional 4/2 con símbolo.

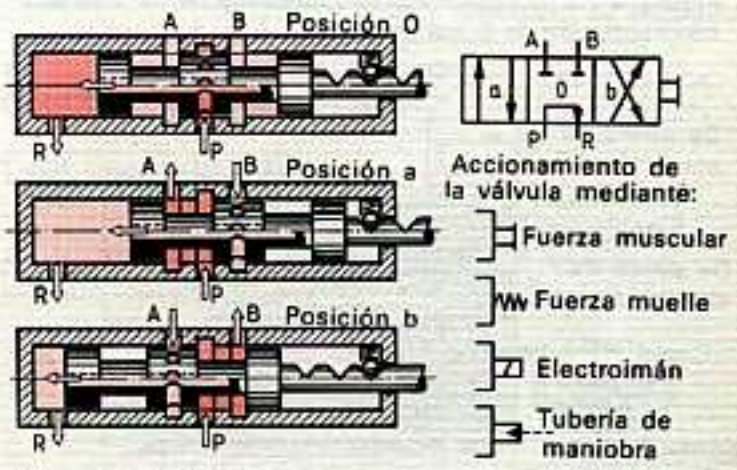
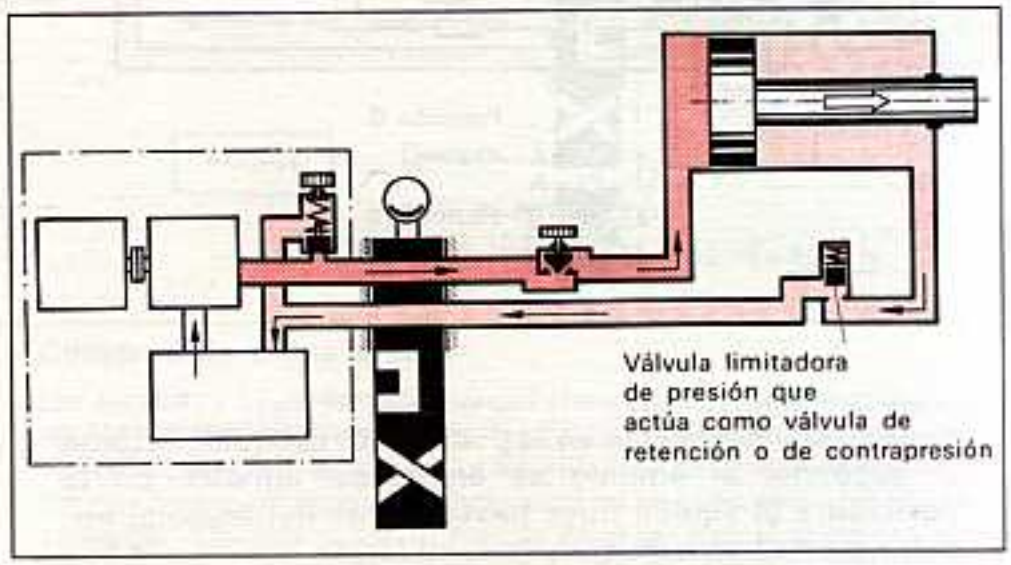


Figura 4-69. Válvula direccional 4/3 con símbolo.

RETENCIÓN/ACEITE HIDRÁULICO

Durante el funcionamiento de los cilindros de trabajo puede ocurrir que por aparecer una fuerza que tire del émbolo, se vea éste forzado con un movimiento de salida, dando por resultado un efecto de aspiración de la tubería de presión y, al fluir el líquido sin retención, se crea un estado incontrolable, el émbolo «flota».



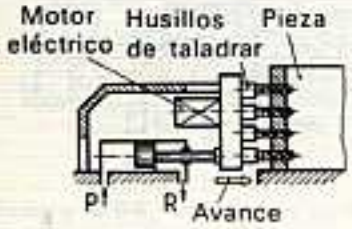


Figura 4-70.
Unidad de avance.

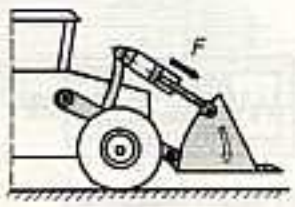


Figura 4-71.
Pala cargadora.

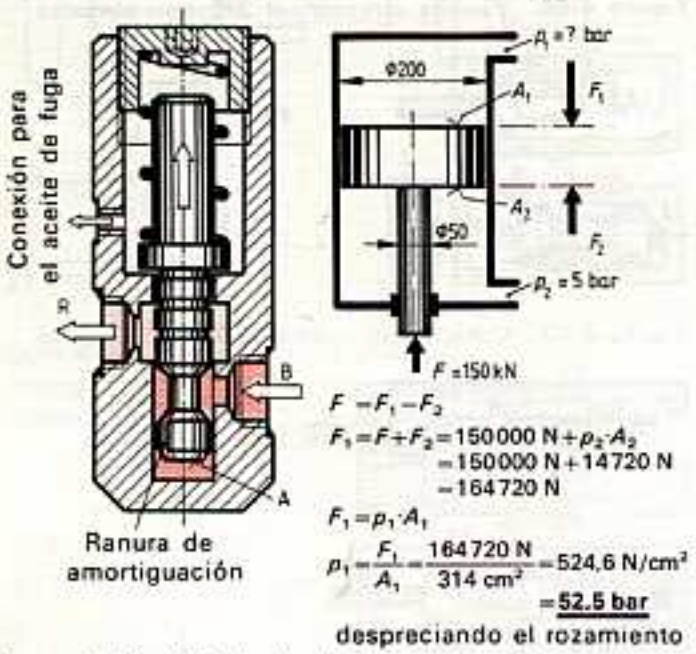


Figura 4-72. Válvula limitadora de presión con amortiguación (izda.).
Figura 4-73. Émbolo sujeto hidráulicamente con una contrapresión de 5 bar (dcha.).

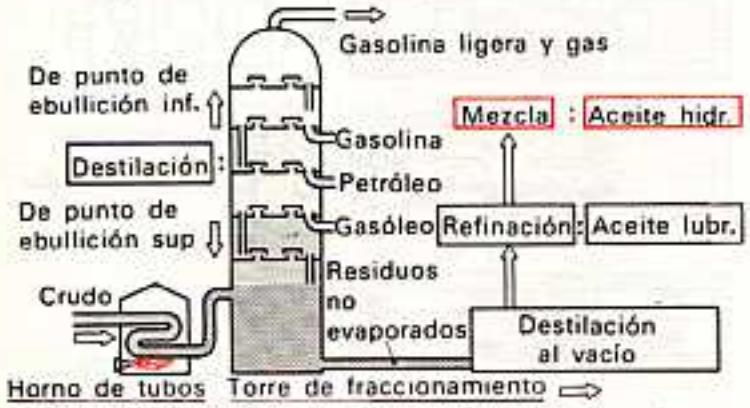


Figura 4-74. Esquema de la fabricación de aceites hidráulicos.

Retención

Este estado se produce, por ejemplo, al salir todas las brocas de una unidad de taladrado o al bajar la cuchara de una excavadora. Como contramedida se «sujeta» hidráulicamente el émbolo. En la tubería de salida del cilindro se monta una válvula reguladora de caudal o una válvula limitadora de presión. En ambos casos se frena el retorno y se sujeta el émbolo entre el líquido a presión y el líquido que sale lentamente con retención.

La **válvula limitadora de presión** empleada en este caso tiene que reaccionar con mucha más frecuencia que la que hay detrás de la bomba. Por medio de una ranura de amortiguación situada en la parte inferior del émbolo de distribución, se impide que se produzca una vibración indeseada, ya que la presión efectiva de mando que actúa sobre el área *A* se va reduciendo lentamente.

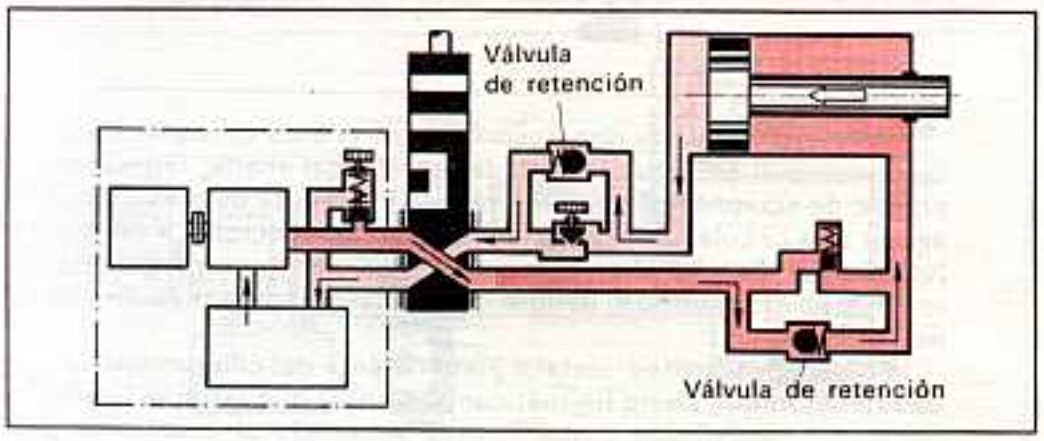
Aceite hidráulico

Las instalaciones hidráulicas del siglo pasado funcionaban con agua (hidro = agua). Hoy día se emplean como líquido de presión **aceites minerales** (aceites hidráulicos) o **líquidos especiales**. Los primeros se obtienen por destilación del petróleo crudo y se preparan mediante aditivos a las exigencias especiales de la hidráulica. Una viscosidad demasiado alta, o sea un aceite espeso, origina grandes resistencias por fricción, es decir, pérdida de potencia, y fuerte calentamiento. La viscosidad baja, o sea el aceite muy fluido, hace que las piezas móviles se desgasten rápidamente y produce grandes pérdidas por fugas. El **poder lubrificante** del aceite puede mejorarse mediante aditivos antidesgaste, al igual que la **protección anticorrosiva** y la **protección de las empaquetaduras**. El calor ha de regularse mediante refrigeración o calefacción. Demasiado **aire** en el líquido hidráulico hace que éste se comprima en forma elástica. Cuando la cantidad de sustancias gaseosas es demasiado escasa resulta un líquido «duro». Los aceites hidráulicos no deben formar **espuma**.

Los **líquidos especiales** son por lo general líquidos difícilmente inflamables que se utilizan cuando es preciso por motivos de seguridad.

VÁLVULAS DE CIERRE

En la carrera de ida del émbolo el líquido pasa por la válvula direccional 4/3 y luego por la válvula reguladora, con la que se ajusta el caudal deseado y con ello la velocidad del émbolo, y entra en la cámara posterior del cilindro, empuja al émbolo y éste desplaza el aceite que se encuentra en la cámara anterior del cilindro. Este aceite tiene que salir con pequeña contrapresión venciendo la resistencia que opone la válvula limitadora. Cuando retrocede el émbolo no deben actuar las dos primeras válvulas, para lo cual cada una de ellas dispone de una tubería de derivación con válvula de retención. Estas dos válvulas antirretorno, en la carrera de ida o de trabajo del émbolo, obligan al líquido a pasar a través de ambas válvulas de regulación y en la carrera de retroceso del émbolo dejan el camino libre, eludiendo el líquido el paso por las dos válvulas reguladoras.



Válvulas de retención

Son sencillos aparatos hidráulicos que tienen el cometido de permitir el paso de la corriente de aceite en un solo sentido y bloquear el paso en sentido contrario. Como órgano de cierre se emplea un cono o una bola. Los orificios de paso están calculados de tal manera que las válvulas tengan la misma sección transversal de paso que las tuberías a ellas conectadas, con lo cual no se produce efecto de estrangulación. En las válvulas de retención para montaje vertical se prescinde del muelle, pues para que se efectúe el cierre es suficiente con el propio peso de la bola o del cono.

Válvula de retención con estrangulación

Debido a que en la mayoría de los casos las válvulas reguladoras de caudal sólo deben actuar en un sentido de corriente y por lo tanto tienen que trabajar conjuntamente con una válvula de retención, se han reunido ambas funciones en una sola unidad constructiva. La figura superior muestra una válvula de retención con estrangulación para pasos pequeños, en construcción tubular. En la mitad superior se representa la válvula de retención abierta y en la inferior cerrada. Cuando la válvula de retención está cerrada la circulación del aceite

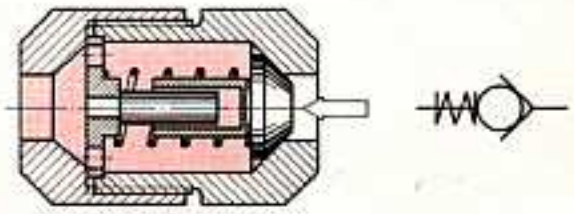


Figura 4-75. Válvula de retención con cono.

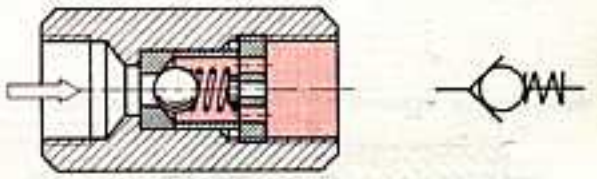


Figura 4-76. Válvula de retención con bola.



Figura 4-77. Válvula de retención con estrangulación (construcción tubular).

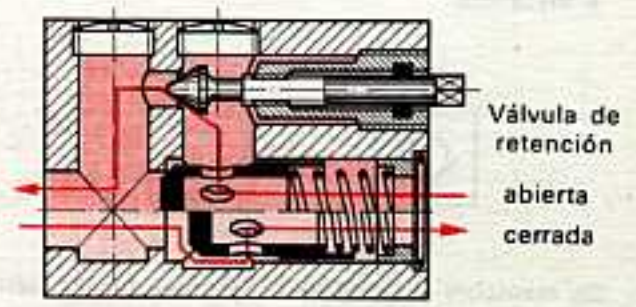


Figura 4-78. Válvula de retención con estrangulación.

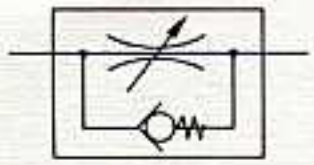
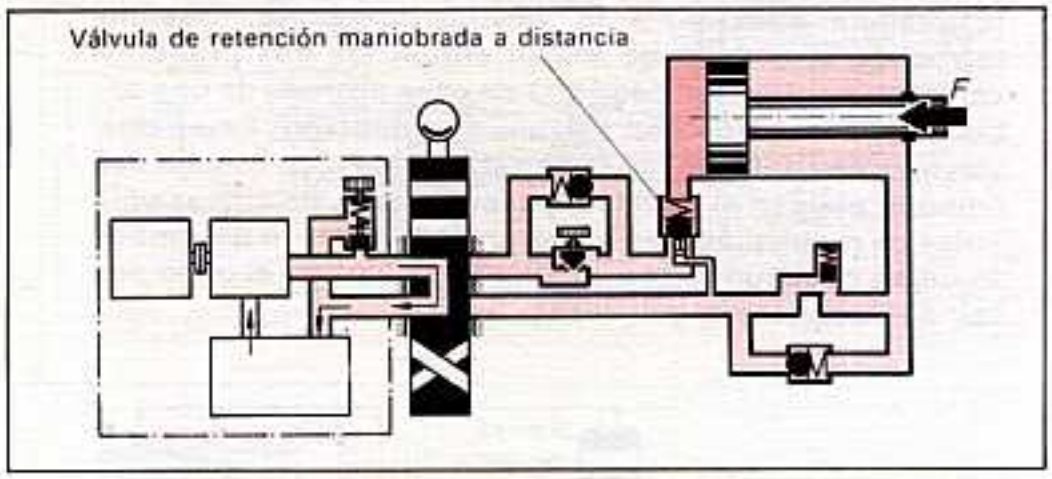


Figura 4-79. Símbolo para válvula de retención con estrangulación.

tiene que desviarse por el lugar de estrangulación variable mediante el manguito de regulación.

La figura inferior muestra un tipo de construcción en el que están dispuestas por separado la válvula estranguladora y la válvula de retención. El cono está nuevamente dibujado en su posición abierta y cerrada. El símbolo muestra una válvula de estrangulación regulable con válvula de retención. Estrangulación en un sentido y paso libre en el otro.

Supongamos ahora que el émbolo ha salido y tiene que soportar una carga o sujetar una pieza. No debe ceder aunque transcurra mucho tiempo; tiene que conservarse la fuerza *F*.



Para este caso hay dos posibilidades. O bien se mantiene constantemente el émbolo con toda la presión del aceite, regresando al equipo de accionamiento por la válvula limitadora de presión todo el aceite que circula, o se conmuta la válvula direccional a posición 0 (ver dibujo). En el primer caso se produce una gran pérdida de potencia y en el segundo el peligro de que descienda la presión a causa de las fugas.

Tercera posibilidad: instalar justo delante del cilindro una válvula de retención que cierre herméticamente para que retenga la presión por tiempo indefinido y que cuando retroceda el émbolo se abra maniobrada a distancia.

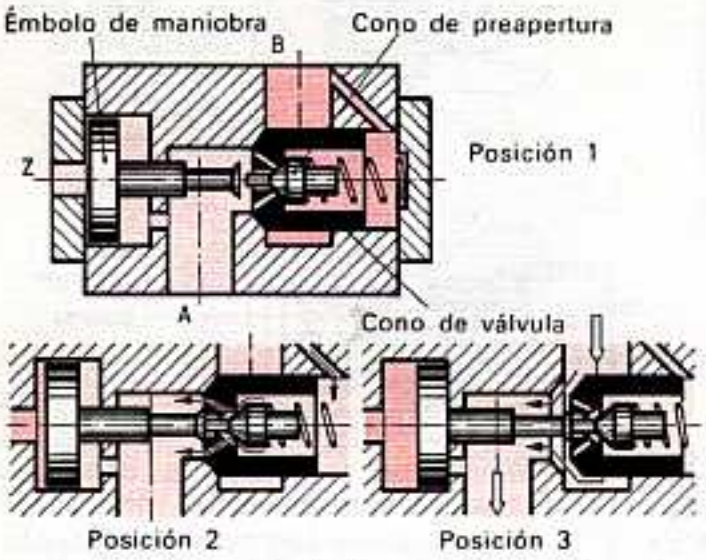


Figura 4-80. Válvula de retención maniobrada a distancia.

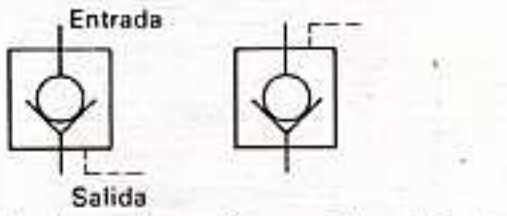


Figura 4-81. Símbolos para válvulas de retención gobernables.

Válvula de retención maniobrada a distancia

Posición I Tubería de la bomba A, tubería del cilindro B, tubería de maniobra Z. El cilindro, la tubería B, y la cámara que hay detrás del cono de la válvula están a la presión que ha de mantenerse necesariamente.

Posición II Cuando se realiza la conmutación de la válvula direccional para el retroceso del émbolo, se crea una presión detrás del émbolo de mando de la válvula a través de la tubería de maniobra Z. Con el fin de que una pequeña presión de maniobra pueda abrir la válvula en contra de una gran presión de retención en la tubería B, el émbolo de mando tiene un diámetro grande y el de preapertura un diámetro mucho más pequeño. Cuando se abre el cono de preapertura, se iguala la presión.

Posición III El émbolo de mando puede empujar fácilmente al cono de la válvula no sometido a presión.

Símbolos para válvulas de retención de maniobra

La tubería de maniobra conectada diferentemente en los dos casos, muestra que la válvula, maniobrándola, abre en contra de una presión

de entrada (a la izquierda) o cierra en contra de una presión de salida (a la derecha).

Rectificador

Un rectificador se compone de cuatro válvulas de retención y obliga a la corriente de aceite a pasar siempre por la válvula de caudal variable, tanto si va de A a B y hace subir el émbolo, como si va en sentido inverso, dejando bajar el émbolo.

Por consiguiente, las velocidaddes de ida y de retroceso son iguales.

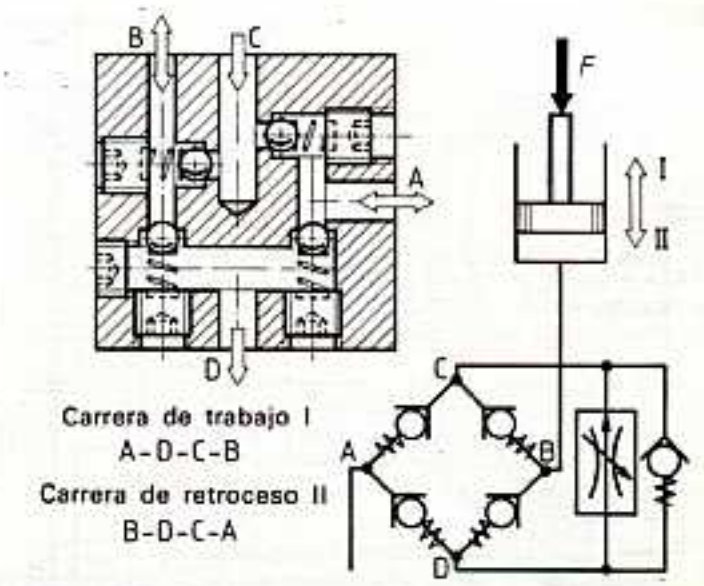
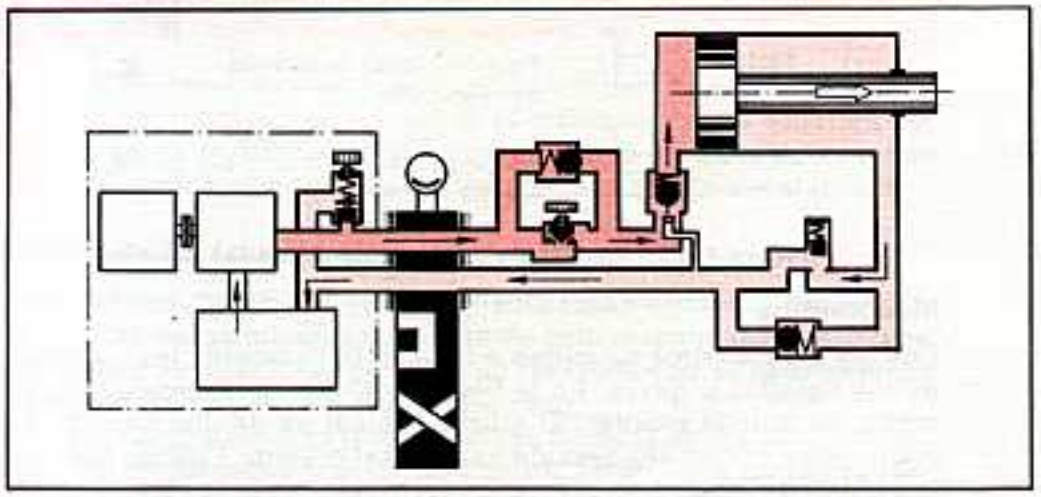


Figura 4-82. Rectificador compuesto por válvulas de retención.

ESQUEMA DE CONEXIONES

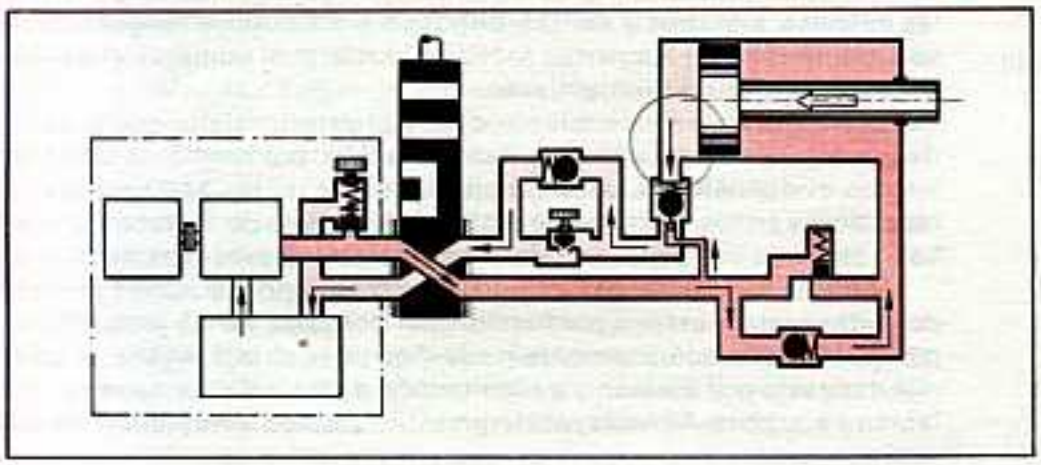
Las dos representaciones muestran finalmente una vez más el desarrollo funcional de la instalación y los cometidos de los distintos aparatos hidráulicos: en la figura superior para la carrera de ida del émbolo y en la figura inferior para el retroceso. En la página siguiente está representado el esquema de conexiones pertinente.

El ciclo de trabajo deseado del cilindro sólo es posible mediante el empleo de diferentes aparatos hidráulicos. Con ello se pierde, naturalmente, mucha energía. Sólo deben utiizarse los aparatos imprescindibles para el cometido deseado.



ACCESORIOS

En accesorios se incluyen todos los aparatos necesarios para el funcionamiento de la instalación hidráulica.



Cilindro de doble efecto para la transformación de energía hidrostática en energía mecánica.

Válvula de retención maniobrada a distancia para cerrar herméticamente la cámara del cilindro

Válvula reguladora de caudal de dos vías con válvula de retención para regular el caudal en sentido de ida y retorno libre a través de la válvula de retención

Válvula de retención para bloquear la corriente de aceite en un sentido

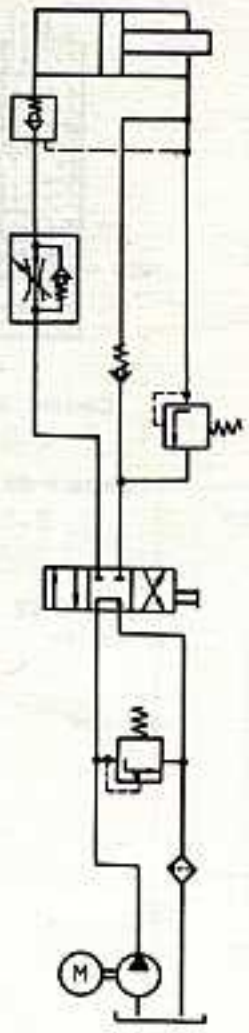
Válvula limitadora de presión para cerrar una contrapresión para la regulación del retroceso del émbolo y para su sujeción hidráulica

Válvula direccional 4/3 de accionamiento manual para gobernar el sentido de movimiento del émbolo de trabajo, con circulación de bomba sin presión en la posición 0

Válvula limitadora de presión con límite de presión máxima tarada en forma fija para proteger toda la instalación contra sobrecargas debidas a excesiva presión del líquido

Filtro de retorno para limpiar el aceite que vuelve al depósito

Bomba que trabaja según el principio de desplazamiento para transformar energía mecánica en energía hidráulica, accionada por motor eléctrico





Sección transversal del resorte tubular

Figura 4-87. Manómetro de resorte tubular.

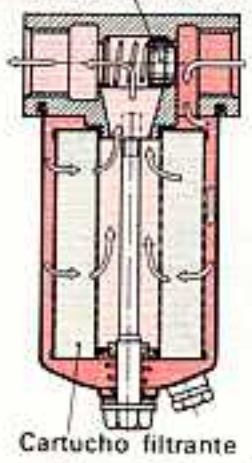


Figura 4-88. Filtro de retorno.

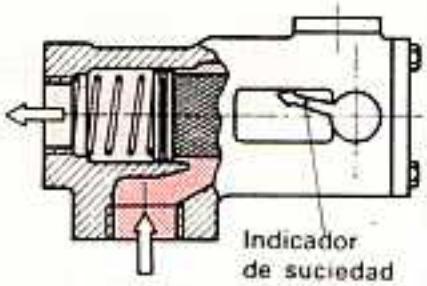


Figura 4-89. Filtro de aspiración.

Tuberías de trabajo
A, B, C, ...
Salida R, S, T ...
Entrada P
Tubería de maniobra Z, X, Y...
Drenaje L

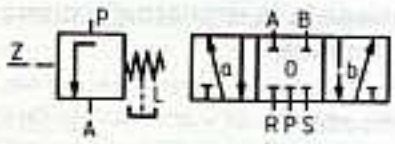


Figura 4-83. Caracterización de las tomas.

I Posición hacia delante
II Posición hacia atrás
III Posición indeterminada, la entrada y la salida están comunicadas, el émbolo «flota»
IV Posición de circulación
V Posición de bloqueo



Figura 4-84. Posiciones de las válvulas direccionales.

La entrada por la derecha o la izquierda va siempre hacia A. El otro lado de entrada está cerrado

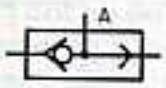


Figura 4-85. Válvula selectora.

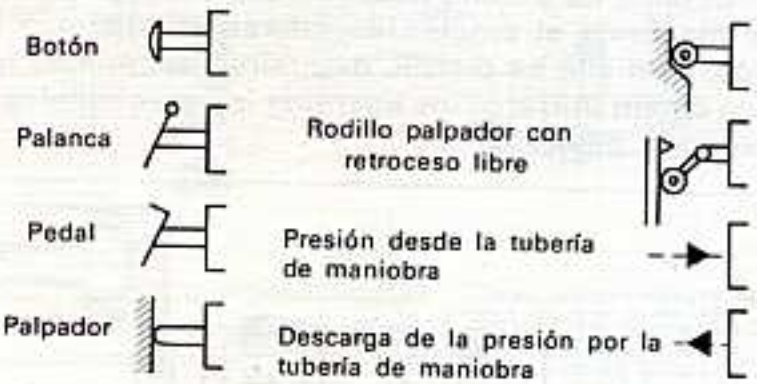


Figura 4-86. Medios de accionamiento de las válvulas.

Manómetros

Con los manómetros se miden e indican ópticamente las presiones de los líquidos o gases. En la figura 4-87 se representa un **manómetro de muelle tubular.** El muelle tubular es de una aleación de cobre tenaz y tiene una sección transversal ovalada. Cuando aumenta la presión del líquido en el interior del muelle, éste se abre y la aguja se mueve en sentido horario. Cuando cesa la presión, el muelle recupera su posición primitiva.

Filtros

El desarrollo industrial, que impone cada vez mayores exigencias a las válvulas, cilindros y demás, conduce al empleo de holguras cada vez menores entre las partes móviles, con lo cual aumenta el peligro de desgaste por ensuciamiento.

El peligro de ensuciamiento desde el exterior tiene que evitarse desde que comienza a trabajar la instalación, por medio de filtros de aire en el depósito, retenes de eje perfectos en las bombas, anillos rascadores en los vástagos de émbolo, decapado de las tuberías nuevas y máxima limpieza posible en el montaje y procesos de lavado.

Durante el tiempo de funcionamiento se produce suciedad debido al desgaste metálico por fricción y al desgaste de las juntas. Estas partículas microscópicamente pequeñas pueden dar lugar a un ulterior desgaste por fricción y a obstrucción de los orficios de estrangulación pequeños. Además, aceleran el proceso de envejecimiento del aceite.

Es necesario filtrar constantemente el aceite circulante.

Los filtros de retorno originan una estrangulación en relación al grado de ensuciamiento de los mismos. Por ello se instala una válvula de desvío con muelle, que se abre cuando hay mucha suciedad en el cartucho filtrante.

Los filtros de aspiración reducen la capacidad de aspiración de la bomba, por lo cual llevan indicadores que permiten efectuar oportunamente el cambio de filtro.

Acumuladores

Puede ser necesario tener en reserva, en un lugar cualquiera de un sistema hidráulico, una determinada cantidad de aceite a presión de servicio. Para cantidades de aceite grandes (de 10 a 80 litros) se emplean **acumuladores de émbolo.** El aceite y el gas (nitrógeno) están separados por un émbolo. Cuando se llena con aceite se utiliza como acumulador de energía el gas compresible. Para cantidades pequeñas (de 1 a 30 litros) se emplean los acumuladores de recipiente flexible. El gas se encuentra encerrado en una cámara de goma.

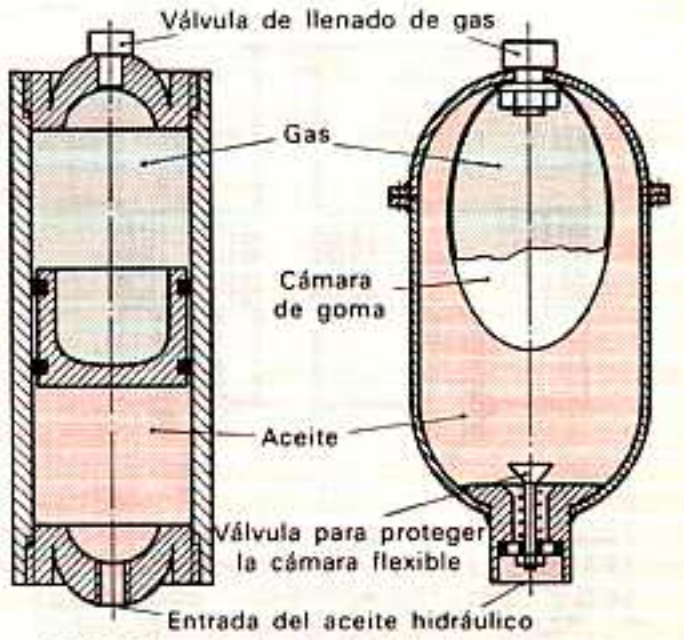


Figura 4-90. Acumulador de émbolo (izda.).
Figura 4-91. Acumulador de recipiente elástico (dcha.).

TUBERÍAS

Las tuberías rígidas (fijas) o flexibles (móviles) transportan el líquido a presión desde el depósito hasta el lugar de aplicación (cilindro o motor hidráulico), y lo devuelven al depósito.

La disposición, tipo de construcción y orden de conmutación de los aparatos hidráulicos, así como el diámetro de las tuberías, se determinan en la oficina de proyectos, pero el tendido de las tuberías lo decide frecuentemente fabricación, o sea el personal de taller.

Resistencia de las tuberías

Las moléculas del líquido en movimiento rozan unas con otras y con las paredes de las tuberías y a causa de este rozamiento se produce una pérdida de fuerza. La velocidad de las moléculas es mínima junto a las paredes y aumenta hacia el centro.

Se produce **corriente laminar** en las tuberías rectas y de paredes lisas. Las pérdidas por fricción son bajas. Se produce **corriente turbulenta** (remolinos) cuando se sobrepasa la velocidad de flujo crítica y cuando la tubería no es rectilínea, o sea en las curvas, codos, etc. La energía útil consumida por la fricción se transforma siempre en calor que se disipa por radiación en las tuberías o en el depósito, o hay que eliminarlo a través de un sistema de refrigeración. Cuanto mayor sea el calentamiento, peor será el rendimiento de la instalación.

Velocidad de circulación. El caudal Q (en l/min) que necesita la instalación (cilindro o motor hidráulico) tiene que fluir por todas las tuberías y válvulas. Según la ecuación de continuidad $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$, el líquido, en presencia de cualquier variación de la sección transversal, tiene que modificar también su velocidad de circulación. Cuanto menor sea la sección transversal de la tubería o de un paso de válvula, mayor será la velocidad del líquido, y viceversa. El producto de multiplicar el área de la sección transversal A por la velocidad v es igual en todos los lugares de un sistema cerrado.

Diámetro de las tuberías: Los diámetros pequeños aumentan la velocidad y con ello la fricción y el calentamiento (desfavorable). El caudal es menor y debido a ello se necesita menos energía de aceleración (favorable). Los **diámetros grandes** tienen ventajas e inconvenientes inversos a los anteriores.

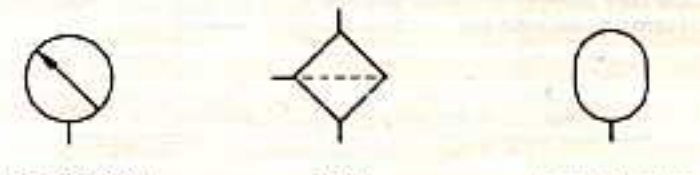


Figura 4-92. Símbolos.

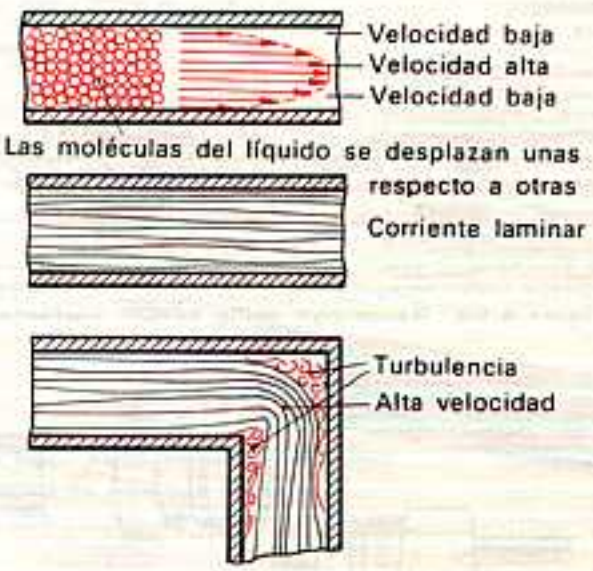


Figura 4-93. Comportamiento de la corriente en las tuberías.

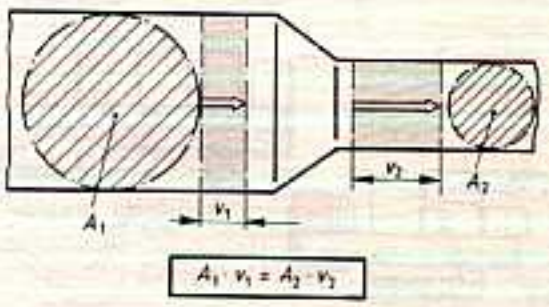
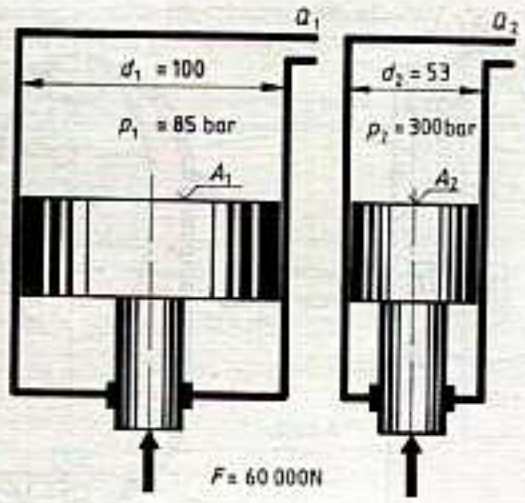


Figura 4-94. Ecuación de continuidad o ley de circulación.



$F = A_1 \cdot p_1 \cdot \eta$

$F = 78{,}5\ cm^2 \cdot 850\ \frac{N}{cm^2} \cdot 0{,}9$

$F \approx \underline{60000\ N}$

$A_2 = \frac{F}{p_2 \cdot \eta}$

$A_2 = \frac{60000\ N}{3000\ \frac{N}{cm^2} \cdot 0{,}9}$

$A_2 = 22\ cm^2$

$d_2 = \underline{53\ mm}$

Caudal = Q en l/min
Carrera del émbolo $s = 100$ mm
Tiempo de carrera $t = 5$ s

$Q_1 = \frac{V_1}{t}$

$Q_1 = \frac{1\ dm^2 \cdot s \cdot 1\ dm \cdot 60}{4 \cdot 5\ s}$

$Q_1 = \underline{9{,}42\ l/min}$

$Q_2 = \frac{V_2}{t}$

$Q_2 = \frac{0{,}53\ dm^2 \cdot s \cdot 1\ dm}{4 \cdot 5\ s/60}$

$Q_2 = \underline{4{,}99\ l/min}$

Figura 4-95. Comparación de dos cilindros con la misma fuerza, pero de dimensiones, presiones y caudales diferentes.

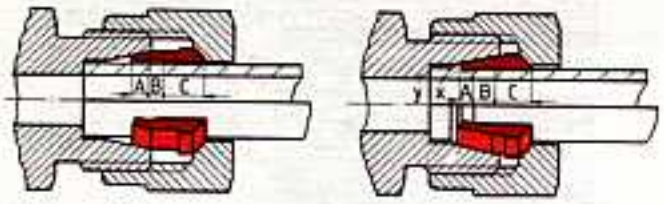


Figura 4-96. Racor con anillo cónico cortante.

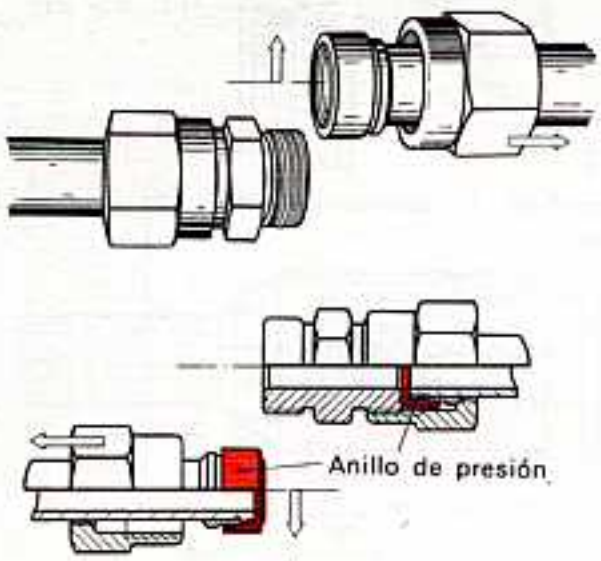


Figura 4-97. Racor en ejecución a tope.

Longitud de las tuberías: Las tuberías largas producen grandes pérdidas por fricción y exigen caudales mayores. Las tuberías cortas mejoran el rendimiento general.

Montaje de las tuberías: Cuantas menos variaciones de dirección presenten, menos turbulencias empeorarán la eficacia del sistema.

Observación: En las instalaciones de fuerza hidráulicas (prensas entre otras) se procura elevar las presiones de servicio, porque con ello pueden dimensionarse más pequeños todos los órganos, lo cual tiene como consecuencia menores caudales y menores velocidades de circulación. En las instalaciones de control hidráulicas se prescinde de esta consideración a causa de los pequeños caudales y las bajas presiones.

RACORERÍA

Los empalmes roscados de las tuberías hidráulicas están sometidos a altas exigencias. Tienen que ser absolutamente herméticos incluso a presiones máximas y solicitaciones mecánicas tales como vibraciones, dilatación o contracción por fluctuaciones de temperatura, y otras.

Racor cónico con filo cortante

Una vez apretada la tuerca, la parte *A* que tiene un filo hueco x, ha penetrado en la pared del tubo y ha practicado un reborde visible. La parte *B* se ha acuñado entre la pared del tubo y el cono interior, limitando de este modo el avance del anillo. El extremo de la parte *C* que penetra en la tuerca, se ciñe firmemente alrededor del tubo, con lo cual amortigua las oscilaciones del mismo en este lugar, que luego se absorben por la parte *B* y así no pueden llegar a la entalladura del tubo situada en x. El extremo del tubo queda firmemente sujeto entre el filo hueco *x* y el tope en el interior del racor, y asegurado contra cualquier desplazamiento axial.

Racor en ejecución a tope

La ejecución a tope posibilita montar y desmontar tramos de tubería sin necesidad de efectuar ningún desplazamiento axial. Cuando se aprieta la tuerca, el duro anillo cónico con filo cortante se desliza a lo largo del cono del anillo de presión, se estrecha, y entalla un reborde visible en el tubo. Al mismo tiempo la arista de obturación torneada en el anillo de presión se clava en el racor. **Es absolutamente necesario que el tubo choque contra el tope que hay en el cono, ya que de otro modo no puede efectuarse el proceso de corte.** Mediante el apriete de la tuerca el tubo se une de modo firme, seguro y hermético con el racor, por medio del anillo cónico con filo cortante, así como del anillo de presión, dotado de arista de obturación.

Unión embridada

Se emplean bridas para unir tubos de gran diámetro y altas presiones, en los que los racores no son ya seguros, y donde lo exijan las condiciones del montaje. Al realizar el montaje hay que cuidar de que el apriete se efectúe «uniformemente a todo alrededor», con el fin de que la brida actúe uniformemente sobre el anillo cortante.

Purga

Las inclusiones de aire en las instalaciones hidráulicas (bolsas de aire) perturban el funcionamiento o dejan la instalación inoperante.

Es el riesgo típico en los sistemas de freno hidráulico de los automóviles. Toda instalación ha de purgarse a conciencia antes de ponerse en servicio, o en su defecto disponer en el punto más alto un purgador automático. Al poner en marcha la instalación, el aire acumulado escapa al exterior, hasta que el líquido llega al émbolo de purga y lo empuja hacia arriba, y el racor de salida de aire queda cerrado a prueba de presión. Cuando cede la presión, el muelle desprende el émbolo, con lo cual queda libre el orificio de salida y puede repetirse el proceso.

MONTAJE DE TUBERÍAS

Para las tuberías, racorería y fijaciones son válidos los mismos principios que para las bombas, sistemas de distribución, cilindros y motores: esmero en la planificación, selección y montaje.

Indicaciones de montaje para tubos

El montaje de los racores se hará siguiendo las instrucciones del fabricante. El tubo ha de serrarse en **ángulo recto**, lo cual se consigue mejor utilizando un dispositivo de serrar tubos. No deben utilizarse cortatubos, ya que éstos biselan las paredes del tubo y forman muchas rebabas. **Desbarbar** cuidadosamente el tubo por dentro y por fuera.

Para las instalaciones hidráulicas se utilizan preferentemente tubos estirados en frío, sin costura, con buenas propiedades para la **soldadura** y el **doblado**, y **exentos de cascarilla** mediante recocido brillante en gas protector. Se **doblan en caliente o en frío** con ayuda de dispositivos curvadores. Los tubos doblados en caliente han de descascarillarse. El **radio de curvatura no debe ser inferior al mínimo admisible.**

Hay que evitar que puedan repercutir sobre las tuberías oscilaciones y vibraciones, para lo cual se intercalan **tuberías flexibles, arcos de compensación, suplementos de goma** (sobre todo si la tubería va por una pared), se evitan los **haces de tubos**, se deja una **separación** en los tubos que se cruzan, etc.

Las tuberías deben quedar exentas de tensiones una vez apretados los racores y las fijaciones. En caso de que sea inevitable una tensión residual, ésta ha de actuar en los racores. No «tiran» de las tuberías, ya que ello haría que perdiesen hermeticidad los racores. Cuando una tubería no esté bien **alineada** con el eje del racor, se desmontará y **doblará** correctamente.

Tubos flexibles

Los tubos flexibles hidráulicos enlazan partes móviles de las instalaciones. Pueden emplearse hasta la presión máxima debido a su refuerzo de acero.

a) Los conductos de tubo flexible dispuestos en línea recta deben montarse con una cierta comba, con el fin de que puedan absorber las variaciones de longitud.
b) El radio de curvatura no debe quedar por debajo de un mínimo; el tubo flexible sólo debe moverse en el plano de montaje y ha de quedar suficiente tubo para permitir el movimiento.
c) Cuando los arcos son muy pequeños el tubo flexible se aplana e impide el libre paso. En casos extremos, puede acodarse y destruirse.

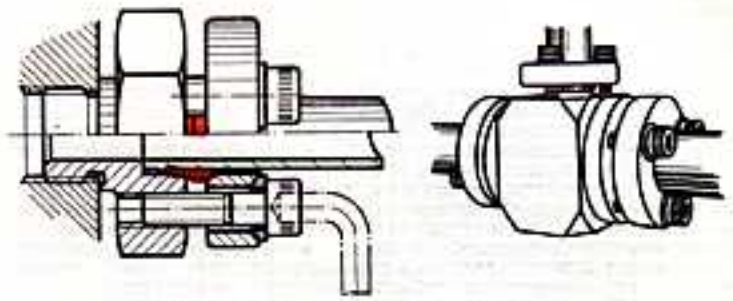


Figura 4-98. Uniones embridadas.

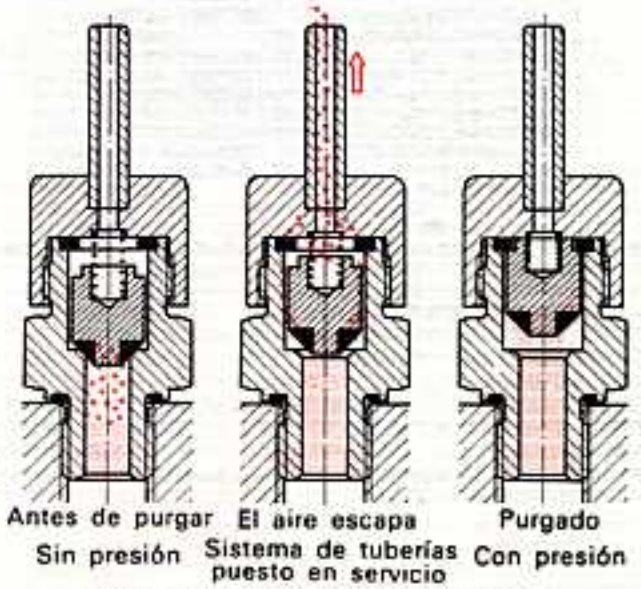


Figura 4-99. Purgador automático.

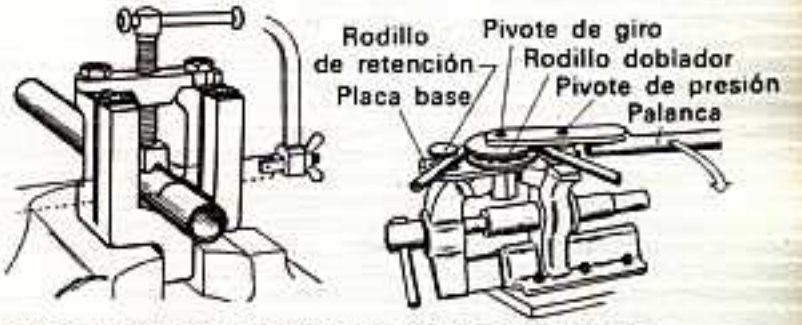


Figura 4-100. Dispositivo para serrar tubos (izda.).
Figura 4-101. Dispositivo para curvar tubos (dcha.).



Figura 4-102. Tubo flexible hidráulico con refuerzo de acero.

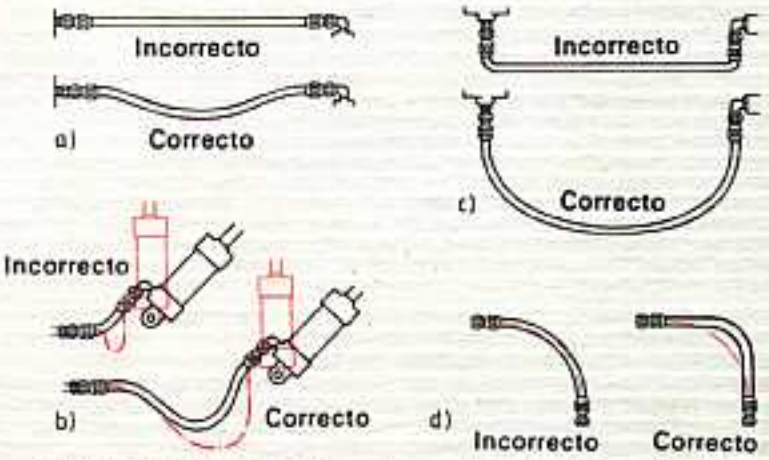


Figura 4-103. Ejemplos de montaje de tubos flexibles.

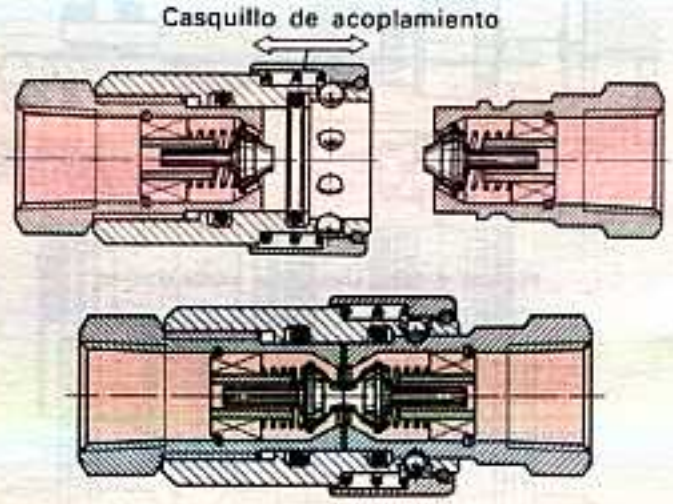


Figura 4-104. Empalme de enchufe para mangueras.

d) Cuando el tubo flexible está retorcido, lo cual puede reconocerse fácilmente por las inscripciones, el momento de retrogiro causado por la presión puede hacer que se desenrosquen las uniones e incluso que se destruya el tubo flexible.

Acoplamientos enchufables para tubos flexibles

Con los acoplamientos enchufables pueden unirse fácilmente tubos flexibles para presiones de hasta 200 bar. Para hacer y soltar la unión, se retrae el casquillo de acoplamiento solicitado por muelle. Los conos de las válvulas de retención se abren recíprocamente cuando se realiza la unión, y bloquean cuando se suelta el acoplamiento.

EJEMPLOS DE CONEXIONES

Esquema de conexiones de un mando de secuencia dependiente del recorrido

Los cilindros I y II deben moverse sucesivamente, y concretamente de manera que el cilindro II se ponga en movimiento cuando el cilindro I ha efectuado un cierto recorrido. El esquema de conexiones contiguo muestra la siguiente situación: El cilindro I ha salido y al llegar a su posición final ha puesto la válvula de maniobra VS I en su

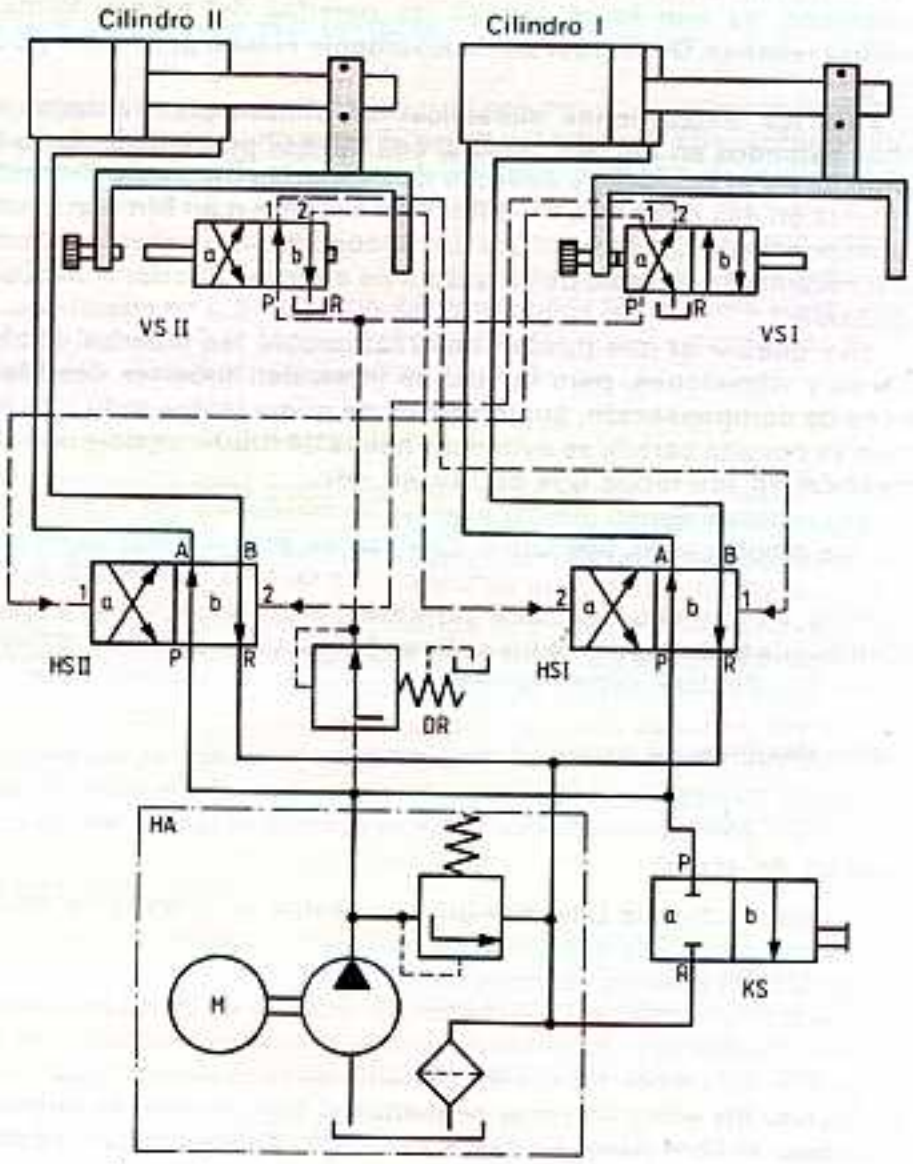


Figura 4-105. Esquema de un mando de secuencia dependiente del recorrido.

posición *a*. Debido a esto, el caudal de aceite de maniobra fluye de P a 2 y desde allí a la válvula distribuidora principal HS I. Esta válvula direccional 4/2 adopta la posición *b*, de manera que el cilindro II sale. Cuando este cilindro alcanza su posición final la válvula de maniobra V I cambia a posición *a* y el aceite de maniobra fluye de P a 2 y desde allí a la válvula VS I. Esta válvula adopta la posición *a*, con lo cual retrocede el cilindro I. Cuando éste llega a la posición final, cambia la válvula VS I a *b*, con lo cual el aceite de maniobra hace que HS II pase a la posición *a*. El cilindro II retrocede a la posición final y establece nuevamente la posición de partida. Este ciclo de trabajo puede interrumpirse poniendo la válvula de circuito cerrado KS (una válvula direccional 2/2) en la posición *b*, y abrirse de nuevo poniéndola en la posición *a*. En la posición *b* se cierra el circuito de aceite a presión, quedando de este modo descargado. La válvula reguladora de presión DR ajusta la presión del sistema, de por ejemplo 100 bar, a una presión más baja, de por ejemplo 5 bar, para maniobra.

Válvula reguladora de presión (válvula reductora de presión). Los lugares de estrangulación de la circulación del aceite originan la diferencia de presión entre p_1 y p_2.

La sección estrangulada determinada, y con ella la caída de presión dada, se mantiene mediante las fuerzas F_1 y F_{p2} que actúan en el émbolo distribuidor. Cuando p_2 aumenta, aumenta también F_p, a través del agujero del émbolo y de la presión del líquido que actúa en la superficie inferior del mismo. El pistón sube, reduce la sección de estrangulación y p_2 desciende. Cuando p_2 es demasiado pequeña, el proceso de regulación se produce a la inversa. En el caso de la válvula reguladora de presión maniobrada de la figura de la derecha, el aceite fluye con la presión p_2 por el émbolo hueco hasta llegar ante el cono de mando. Si éste se levanta debido a una presión p_2 demasiado alta, sale aceite de maniobra y desciende la presión a través del émbolo, de manera que éste es presionado hacia arriba y hace que descienda la presión p_2 a través de su borde de distribución. Esta válvula actúa de forma muy sensible y segura. Los símbolos muestran que, en la posición de reposo está abierto el paso y que el impulso de maniobra (línea de trazos) se toma del lado de salida.

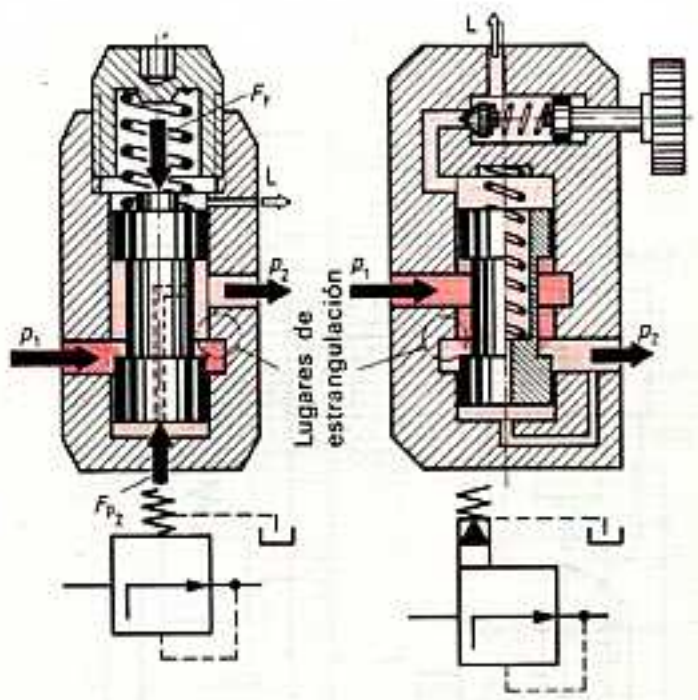


Figura 4-106. Válvula reguladora de presión de acción directa (izda.).
Figura 4-107. Válvula reguladora de presión maniobrada.

Esquema de conexiones de un mando de secuencia dependiente de la presión

En una máquina herramienta automática, el cilindro de sujeción tiene que apretar la pieza antes de que el cilindro de trabajo comience a actuar.

Además del equipo hidráulico se utilizan dos cilindros de doble efecto, dos válvulas direccionales 4/2 I y II, dos válvulas limitadoras de presión DI y DIII, una válvula de paso de presión DII maniobrada y una válvula reguladora de caudal de 2 vías S.

Las válvulas de presión están taradas. Por ejemplo, la D I a 5 bar, la D II a 100 bar y la D III a 50 bar. En nuestro ejemplo, las válvulas direccionales W I y W II se accionan manualmente.

1. Apriete (carrera de ida del cilindro de sujeción)

Válvula direccional W I en posición a (la dibujada).
Válvula direccional W II en posición b (no es la dibujada).

El cilindro de sujeción sale y sujeta firmemente la pieza, con lo cual puede aumentar la presión del líquido hasta 100 bar. A consecuencia de ello se abre D II y deja libre el paso del aceite al cilindro de trabajo, el cual, sin embargo, permanece en reposo dado que W II se encuentra en la posición b. Si debido, por ejemplo, a un defecto, descendiese la presión en el cilindro de sujeción y no estuviese asegurado el apriete de la pieza, se cerraría también D II y quedaría dete-

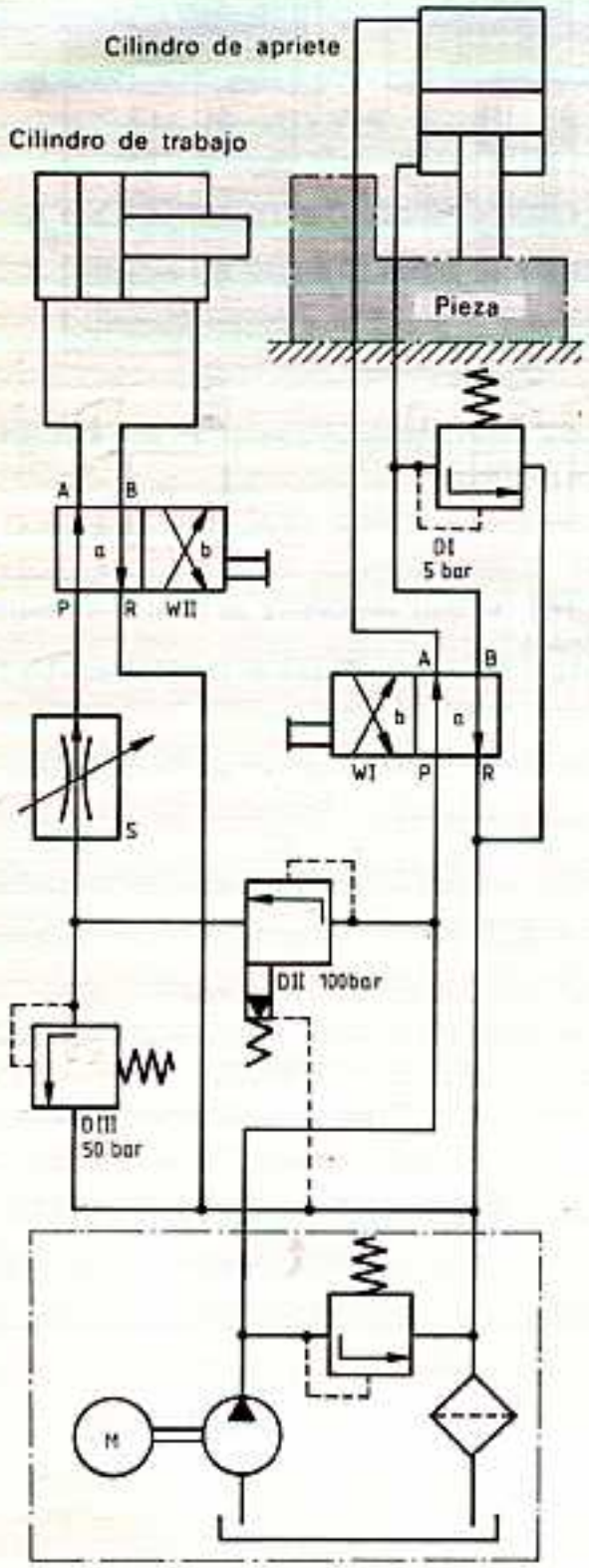


Figura 4-108. Esquema para un mando de secuencia dependiente de la presión.

nido el cilindro de trabajo. La «válvula de paso» trabaja como una válvula reguladora de presión maniobrada, sólo que en este caso el impulso de maniobra viene del lado de entrada y la válvula está normalmente cerrada.

2. Trabajo (carrera de ida del cilindro de trabajo)

Válvula direccional W I en posición a (dibujada).
Vávula direccional W II en posición b (dibujada)

El caudal de aceite pasa por D II, atraviesa la válvula reguladora del caudal de 2 vías S, que regula la velocidad del cilindro de trabajo, la válvula direccional W II y llega al cilindro de trabajo, obligando a éste a salir. Si a causa de una resistencia de trabajo asciende aquí la presión por encima de 50 bar, se abre D III. Esta válvula de presión protege pues a las herramientas cuando la fuerza de corte es excesiva.

3. Trabajo (retroceso del cilindro de trabajo)

Válvula direccional W I en posición a (la dibujada)
Válvula direccional W II en posición b (no es la dibujada).

D II está todavía abierta y el caudal de aceite hace retroceder el cilindro de trabajo. El tarado de S no se ha modificado, pero dado que la cámara del cilindro en el lado del vástago del émbolo es más pequeña, al ser el caudal el mismo, la velocidad de retroceso será mayor.

4. Aflojado (retroceso del cilindro de sujeción)

Válvula direccional W I en posición b (no es la dibujada)
Válvula direccional W II en posición b (no es la dibujada).

El cilindro de sujeción retrocede con baja presión de aceite, cerrándose D II. A fin de que cuando se alcance el punto muerto superior no pueda crearse nueva presión del sistema por encima de los 100 bar, lo cual daría lugar a la apertura de D II y a la entrada en funcionamiento del cilindro de trabajo, D I se abre ya al haber baja presión, por ejemplo, 5 bar, y forma el circuito de la tubería de presión con la de retorno.

Plan de trabajo

Fase de trabajo					
Apriete	a	b	Cerr	Cerr	Cerr
Trabajo carrera ida	a	a	Cerr	Ab	Ab
Retroceso	a	b	Cerr	Ab	Cerr
Aflojado	b	b	Ab	Cerr	Cerr

Esquema de un mando de carrera rápida y de avance

En las máquinas herramienta que trabajan por arranque de viruta, el movimiento de la mesa o el de la herramienta debe efectuarse frecuentemente a diferentes velocidades. A la velocidad rápida más alta sigue a lo largo de una carrera exactamente limitada una velocidad de avance menor, y viceversa. Además, la velocidad de avance tiene que ser variable sin escalonamiento. Para este fin, la mesa de la máquina lleva levas de mando y topes de fin de carrera ajustables.

Secuencia de trabajo

La válvula distribuidora principal HS dirige el caudal de aceite detrás del émbolo. Éste sale y con él se mueve la mesa, con los topes de fin

de carrera y las levas incorporadas. El aceite sale del lado delantero del cilindro sin impedimento a través de la válvula de presión D abierta, con poca retención (que sujeta al émbolo) hacia el depósito. Cuando se ha efectuado la carrera E 1 rápida, la leva de mando cierra la válvula de presión mediante el rodillo palpador. La válvula de retención R bloquea el reflujo, de manera que el aceite tiene que pasar por la válvula reguladora de caudal S de dos vías, y se estrangula en ésta a la velocidad de reflujo. Así pues, en esta válvula puede ajustarse la velocidad de avance. Tan pronto como se ha recorrido el tramo de avance, se abre la válvula de presión con su propia fuerza de muelle. Al final de la carrera el tope fin de de carrera izquierdo cambia la válvula de maniobra VS a la posición a, con el fin de cambiar la válvula distribuidora principal a la posición b a través de la tubería de maniobra. El aceite a presión pasa por la válvula de retención R sin resistencia y entra en la cámara pequeña del cilindro que se encuentra en el lado del vástago del émbolo, y hace que éste retroceda rápidamente hasta que el tope de fin de carrera derecho hace cambiar la posición al émbolo de mando.

Intercambiando las levas de mando y modificando la posición de los topes de fin de carrera, puede realizarse cualquier programa de carrera rápida y de avance.

El sistema de conexiones descrito es una regulación de caudal de salida (regulación de caudal secundaria).

Tiene la ventaja de que el émbolo se sujeta hidráulicamente y el inconveniente que requiere un poco más de energía.

Si se tratara de una regulación de caudal de entrada (regulación de caudal primaria) la válvula reguladora de caudal S tendría que disponerse en la tubería de presión. No obstante serían necesarias una derivación de la válvula reguladora de caudal para la carrera rápida y una válvula de presión en la tubería de salida para la sujeción del émbolo.

Esquema de un circuito de circulación con cilindro diferencial

En un circuito normal los cilindros diferenciales, debido a su grueso vástago de émbolo, producen grandes diferencias en las velocidades de ida y retroceso y en las fuerzas de ida y retroceso. Si se emplea el circuito de circulación en el que el área del émbolo A_1 es dos veces el área del émbolo A_2 y el caudal Q_1 que expulsa el émbolo al salir se suma (une) al caudal procedente de la bomba ($Q_2 = Q_p + Q_1$) que entra por la otra cara del émbolo, las fuerzas y las velocidades serán iguales en ambas carreras (ida y retroceso).

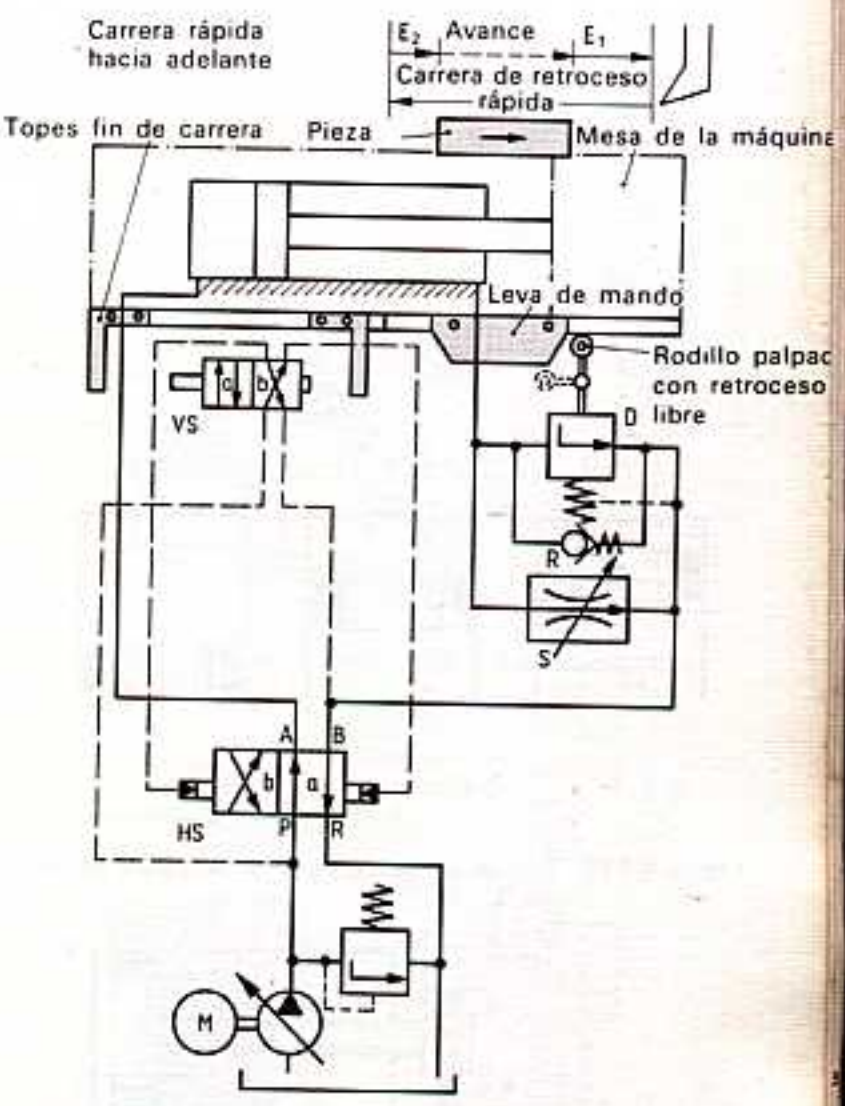


Figura 4-109. Esquema de un mando de carrera rápida y de avance.

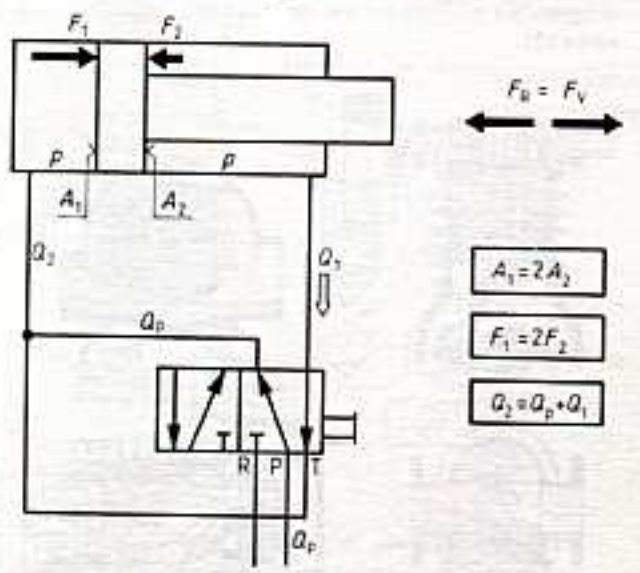


Figura 4-110. Esquema de un circuito de circulación con cilindro diferencial.

4.1.4

COMPARACIÓN ENTRE NEUMÁTICA E HIDRÁULICA

La diferencia entre la hidráulica y la neumática reside esencialmente en las propiedades y el comportamiento de los diferentes medios, el aceite hidráulico (líquido) y el aire (gaseoso). El medio transmite a los equipos de trabajo, cilindro o motor, la energía recibida de la bomba o el compresor. Ambos medios tienen ventajas e inconvenientes.

Neumática — Medio: gas (aire)

Ventajas: El aire está disponible en todas partes. Puede prescindirse de las tuberías de retorno. El aire tiene una velocidad de flujo

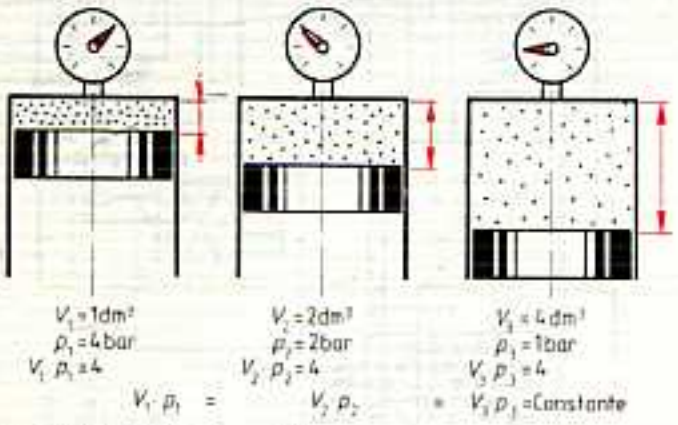


Figura 4-111. Ley de volúmenes y presiones para gases.

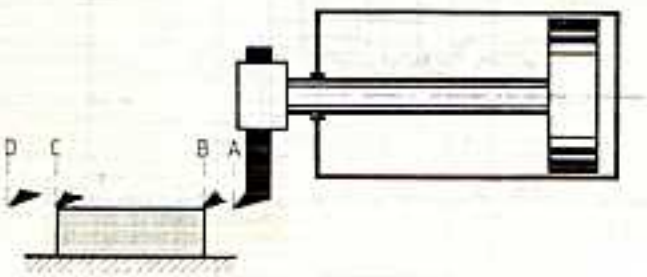
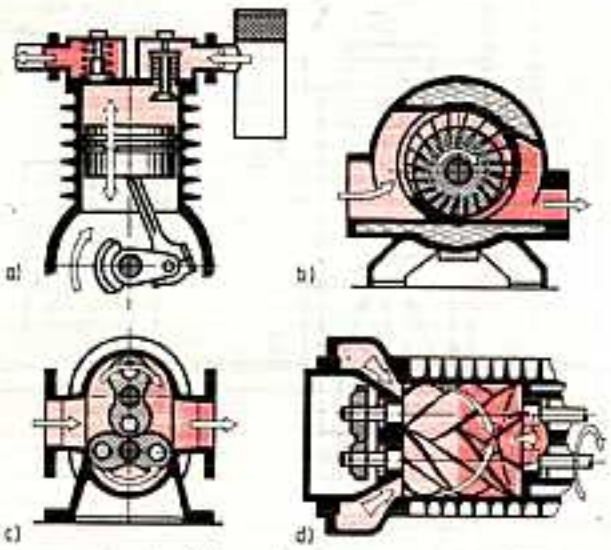


Figura 4-112. Cilindro hidráulico o neumático con diferentes resistencias de trabajo (disposición de ensayo).



a) Compresor de émbolo
b) Compresor multicelular
c) Compresor de émbolos rotativos
d) Compresor de hélice

Figura 4-113. Compresores.

comparativamente alta en las tuberías y válvulas. El aire comprimido puede acumularse bien en depósitos. Las fugas en lugares inestancos no ensucian. Fácil montaje con cierres enchufables y tubos flexibles.

Inconvenientes: El aire tiene que prepararse. Las pérdidas por fugas cuestan dinero debido a la constante pérdida de energía. A partir de 6 bar se prescriben controles técnicos de seguridad. Para fuerzas grandes se necesitan cilindros de diámetro grande.

1. Donde deban realizarse de forma rápida y perfectamente controlable muchas funciones de trabajo con pequeña fuerza, por ejemplo máquinas que trabajan automática o semiautomáticamente.
2. Donde las máquinas descritas en el punto 1 tengan que poderse cambiar rápidamente de preparación para objetos de otras dimensiones, por ejemplo instalaciones de encolado y montaje en la fabricación de muebles.
3. Donde se requiera una extraordinaria limpieza, por ejemplo máquinas llenadoras y envasadoras en industrias de alimentación y medicamentos.

Hidráulica — Medio: líquido (aceite hidráulico)

Ventajas: La baja compresibilidad del aceite prácticamente puede despreciarse. Con cilindros de pequeñas dimensiones pueden lograrse presiones extremadamente altas para producir grandes fuerzas. A pesar de todo no existe peligro de explosión en la instalación. Las diferentes resistencias de trabajo no influyen en la velocidad de trabajo.

Inconvenientes: El aceite hidráulico es caro. Se necesitan tuberías de retorno. Las fugas, por ejemplo, en tuberías inestancas, ensucian el entorno. Velocidades de flujo bajas y además muy dependientes de la temperatura.

De las ventajas e inconvenientes de los medios pueden derivarse campos de aplicación preferentes que se han impuesto en la práctica. Fundamentalmente se cita la siguiente asociación respectiva de ambos sistemas a diferentes campos de aplicación. En muchos casos se emplean además ambos sistemas simultáneamente.

1. Donde se necesiten grandes fuerzas, por ejemplo en prensas, para estemples en minería, para elevar piezas de puentes.
2. Donde la velocidad de trabajo tenga que ser independiente de las resistencias de trabajo cambiantes, por ejemplo en movimientos de avance y de arranque de viruta en máquinas herramienta. En dispositivos elevadores, en maquinas para movimiento de tierras.
3. Donde tengan que gobernarse en forma sensible y exacta carreras de émbolo y velocidades de giro (número de revoluciones) de motores hidráulicos, por ejemplo en dispositivos copiadores y cambio de velocidad de giro sin escalonamiento.

Comportamiento de los gases

Las moléculas de un gas tienden a separarse y ejercen la misma presión sobre todas las paredes del recipiente que lo contiene. Si se reduce el espacio, aumenta la presión. A temperatura constante, el producto del volumen V por la presión p de una cantidad de gas encerrado, es siempre el mismo (constante):

$$V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 = V_3 \cdot p_3 = \text{constante}$$

La compresibilidad del aire influye de forma decisiva en la función y la utilización de la instalación neumática.

Indicaciones relativas al dispositivo de experimentación de la figura 4-112.

Funcionamiento neumático. El tramo AB se recorre con baja presión de aire. En B el dispositivo se detiene hasta que se crea una presión más alta. Cada variación de la resistencia (agujero u otros) da lugar a interrupciones o saltos. A partir de C el émbolo salta hacia adelante. Un remedio es ejercer una contrapresión delante del émbolo, que sólo será eficaz si es lo suficientemente grande, por ejemplo una contrapresión de 4 bar para una presión de trabajo de 6 bar, quedando entonces sólo para la potencia de trabajo una presión de 2 bar.

Funcionamiento hidráulico. La necesaria presión en B se crea instantáneamente. El émbolo no salta hacia adelante en C porque el aceite no se expande al disminuir la presión.

GENERACIÓN DEL AIRE A PRESIÓN

En muchas aplicaciones el aire comprimido se produce en un lugar central y se conduce al lugar de trabajo a una presión de servicio de 6 bar a través de una red de tuberías.

Tipos de compresores

a) **Compresores de émbolo.** Con estos compresores puede comprimirse el aire a cualquier presión deseada. Para lograr presiones muy altas se necesitan compresores de émbolo de varias etapas.
b) **Compresores de paletas.** Compresión hasta aproximadamente 4 bar; con dos etapas, hasta 6 bar. Ventajas: Construcción sin válvulas y caudal continuo (ininterrumpido).
c) **Compresores de émbolos rotativos.** Trabajan a una presión de 4 a 5 bar con caudal ininterrumpido.
d) **Compresores helicoidales.** El aire es transportado en los espacios que quedan entre la carcasa y la hélice giratoria, y finalmente expulsado. Se logran presiones de hasta 10 bar.

Preparación del aire comprimido

El aire aspirado de la atmósfera contiene polvo y humedad. Luego el compresor, arrastra además residuos de aceite lubricante, de manera que el aire comprimido acumulado está sucio debido a las sustancias residuales, el agua y los restos de aceite. La figura 4-114 muestra los estados del aire comprimido antes y después de pasar por los equipos de preparación de aire usuales.

Equipo de mantenimiento

Los **filtros** tienen el cometido de separar las impurezas sólidas y líquidas, tales como el polvo, agua y aceite. Esto se realiza mediante el cartucho filtrante (1) y haciendo pasar la corriente de aire a lo largo de la pared del cilindro de vidrio (2), de manera que las impurezas son lanzadas hacia afuera por la fuerza centrífuga. La chapa de rebote (3) impide que se arremoline la mezcla de agua, aceite y polvo (4) depositada. Por medio del **regulador de presión** el aire comprimido se mantiene a una presión ajustable. El aire, a la presión p_1 (2), impulsa a la membrana de goma (3) y cierra la válvula (1) cuando la presión supera a p_2. Cuando desciende la presión, el muelle pone la válvula en posición «abierta». Con la ruedecilla (4) se regula la presión p_2 deseada. El **engrasador** dota al aire comprimido de una fina niebla de aceite que se depósita en las válvulas y cilindros, proporcionando a estos órganos la necesaria lubricación. Los tres aparatos juntos forman un **equipo de mantenimiento.** Ha de disponerse un equipo de este tipo delante de cada lugar de toma de aire comprimido.

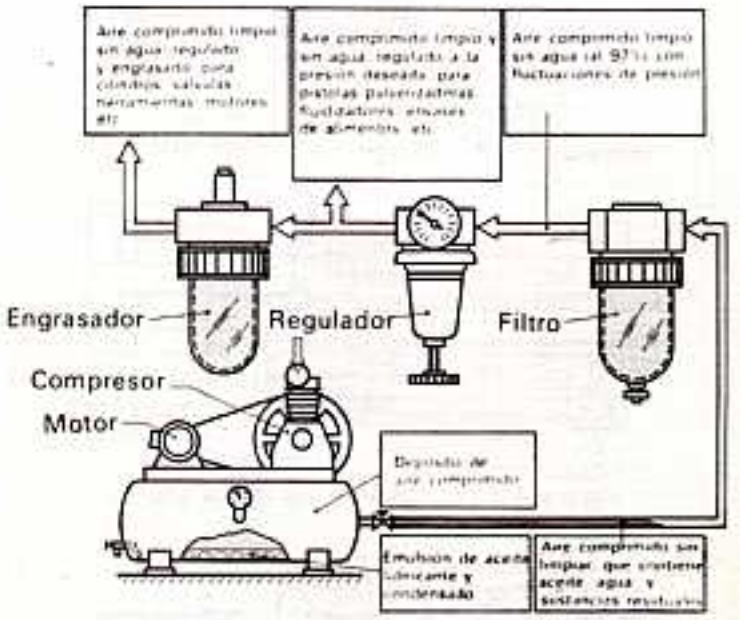
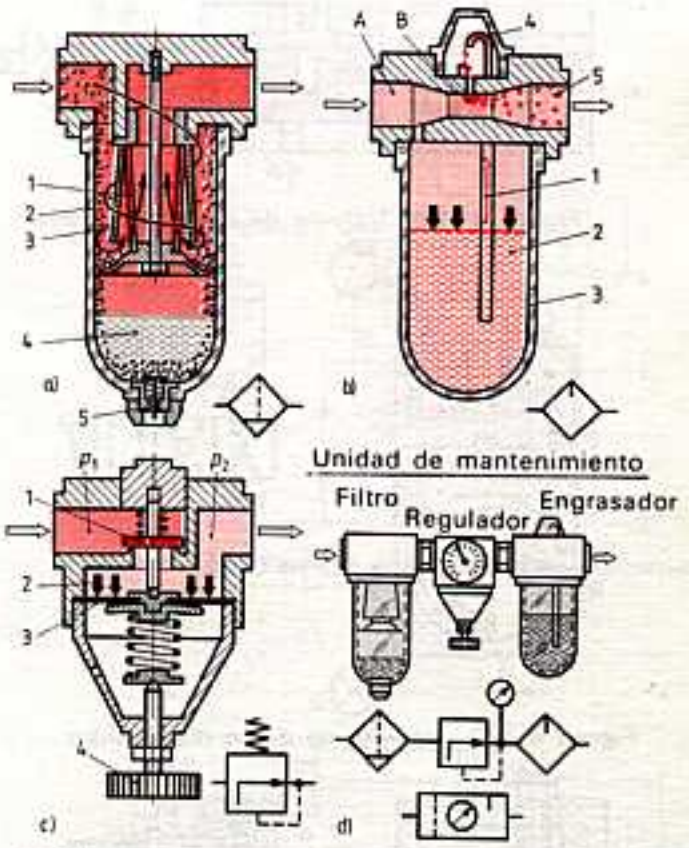


Figura 4-114. Estados del aire comprimido.



a) **Filtro con símbolo**
b) **Engrasador con símbolo**
c) **Regulador de presión con símbolo**
d) **Unidad de mantenimiento con esquema (práctico y simplificado)**

Figura 4-115. Unidad de mantenimiento.

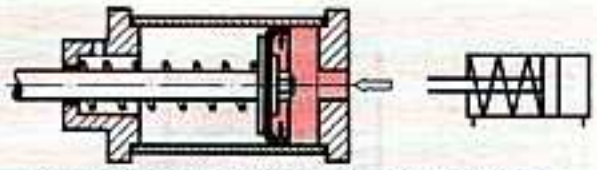


Figura 4-116. Cilindro de simple efecto.

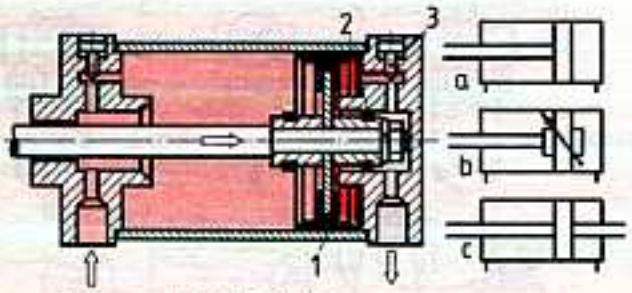


Figura 4-117. Cilindro de doble efecto.

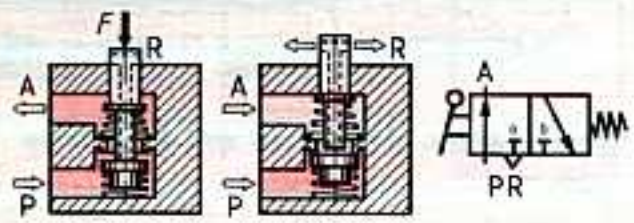


Figura 4-118. Válvula de platillo.

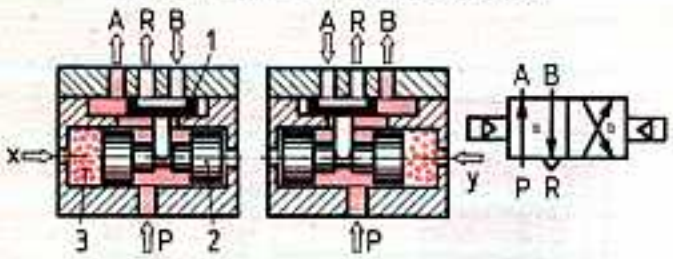


Figura 4-119. Válvula de corredera plana.

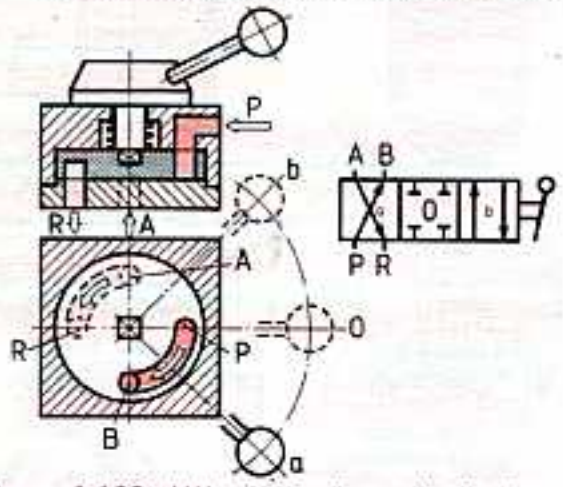


Figura 4-120. Válvula de disco distribuidor.

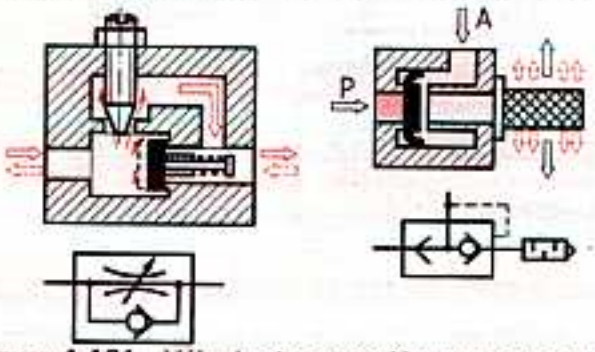


Figura 4-121. Válvula de retención con estrangulación, con válvula de escape rápido del aire y silenciador.

COMPONENTES

Para los componentes neumáticos e hidráulicos se utilizan los mismos símbolos. Sólo se diferencian en la ejecución constructiva, ya que se ha de tener en cuenta el diferente medio o las diferentes fuerzas.

Cilindros neumáticos

Cilindro de simple efecto. Debido a las pequeñas presiones del aire, es suficiente con pequeños espesores de pared. Normalmente el émbolo va dotado de una empaquetadura de material elástico, generalmente goma. Su borde se aprieta contra la pared del cilindro por efecto del aire comprimido, de manera que se produce una buena estanqueidad.

Cilindro de doble efecto. La figura 4-117 muestra un cilindro de este tipo con amortiguación a ambos lados, correspondiente al símbolo b. Se incorpora un sistema de amortiguación cuando el émbolo se desplaza muy rápidamente a la posición final, chocando en ésta. Antes de que el émbolo llegue a dicha posición final, la junta 2 obtura el aire todavía existente y lo deja salir lentamente, estrangulado, por la válvula estranguladora 3. También en este caso se emplea una empaquetadura 1 doble para estanquizar el émbolo.

Válvulas distribuidoras

Válvula de platillo. En la posición a el aire fluye de P a A. En la posición b está cerrado P y el aire de retorno fluye de A a R. Se trata de una válvula distribuidora 3/2 sin interferencia y accionada manualmente.

La **válvula de corredera plana** es maniobrada a través de su émbolo 2 y de sus dos tuberías de maniobra x e y. La entrada del aire por x significa aire presente en el lado izquierdo del pistón 3 y con ello posición a y flujos de aire de P a A y de B a R. Es una válvula distribuidora 4/2.

La **válvula de disco distribuidor** tiene cuatro vías y tres posiciones. Se trata pues de una válvula distribuidora 4/3. El funcionamiento puede verse en la figura 4-120. Se trata en este caso de una construcción especialmente cómoda de manejar, por lo que se monta frecuentemente en puestos de mando.

Válvula de retención

El regulador **de caudal con retención** obliga a la corriente de aire a pasar en un solo sentido, lo cual puede ser importante para lograr la retención del émbolo, y deja libre el paso en sentido contrario.

Una **válvula de escape rápido** actúa de modo análogo a una válvula de retención. El paso de aire de P a A está libre, el retén de goma hace contacto por la derecha, su labio se dobla hacia dentro. Si cae la presión en P, el caudal de aire que viene de A hace que la válvula haga contacto por el lado izquierdo y abra de este modo el camino hacia la salida, a través del silenciador.

ELEMENTOS DE CONTROL

En las instalaciones puramente neumáticas, a causa de la compresibilidad del medio sólo se logra una regulación precisa de la velocidad cuando la resistencia de trabajo en el cilindro permanece constante durante toda la carrera de trabajo.

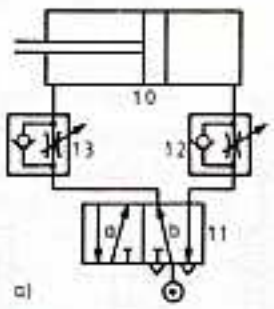


Figura 4-122.
Estrangulación del aire de salida.

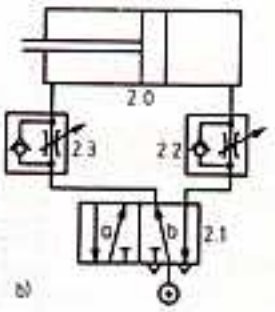


Figura 4-123.
Estrangulación del aire de entrada.

Regulación de la velocidad en las instalaciones neumáticas

Estrangulación del aire de salida. En la posición *a* el aire que sale del cilindro de doble efecto tiene que pasar por el estrangulador incorporado en el regulador de caudal con 1.3 retención. En la posición *b* el aire de salida tiene que pasar por el estrangulador 1.2 (dibujado). Los estranguladores regulan el paso de aire y con ello la velocidad del émbolo.

Estrangulación del aire de entrada. Únicamente las válvulas de retención montadas de forma invertida hacen que ahora las corrientes de aire de entrada tengan que pasar por las respectivas válvulas estranguladoras.

Controles neumohidráulicos

Si se quieren obtener velocidades uniformes de los cilindros, que sean independientes de la resistencia de trabajo, como en el caso de los avances, la instalación neumática ha de trabajar conjuntamente con una hidráulica. La disposición *a* muestra que el líquido hidráulico está encerrado en el circuito. Durante la ida del cilindro el aceite tiene que pasar por el estrangulador de regulación. Durante el retroceso el aceite puede volver rápidamente a través de la válvula de retención. En la disposición *b* el cilindro neumático tiene asociado en paralelo, a través de un varillaje, un cilindro neumático.

Controles sencillos

En un **mando a voluntad** los impulsos para conmutar la válvula distribuidora principal 1,1 se crean accionando con la mano o con el pie (en este caso un pedal) las válvulas de maniobra 1.2 y 1.3. La válvula 1.2 produce la ida y la 1.3 el retroceso del cilindro. La válvula distribuidora principal puede ser, por ejemplo, una válvula de corredera plana con émbolo y las tuberías de maniobra x e y.

En el **control dependiente del recorrido** está prevista la misma construcción básica. En lugar del accionamiento con la mano o con el pie, la entrega de impulsos se realiza mediante el vástago del émbolo que avanza o retrocede, o mediante las piezas de máquina fijadas a él (mesa, carro), a través de las levas de mando.

El **control dependiente del tiempo** tiene adicionalmente dos reguladores de caudal con retención, con los que puede ajustarse un retardo del ciclo. Cuando la válvula distribuidora principal 1.1 se encuentra en la posición *a* el cilindro sale. Cuando llega a tope se crea una presión que, a través de 1.4 y debido a la estrangulación actúa lentamente sobre 1.2 y transcurrido cierto tiempo la cambia de posición. Ahora, con 1.1 en posición *b*, se repite el juego en el sentido de movimiento contrario del cilindro.

Frecuentemente tiene que conseguirse, por medio de una disposición de las válvulas, la acción conjunta de dos o varios cilindros, en dependencia del recorrido, el tiempo o la presión. En este caso se habla de mandos secuenciales.

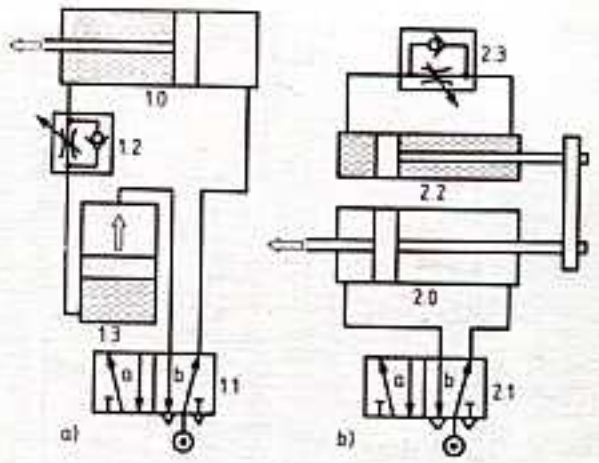


Figura 4-124. Control neumohidráulico.

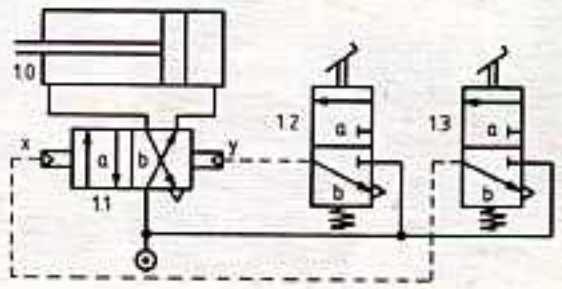


Figura 4-125. Control a voluntad.

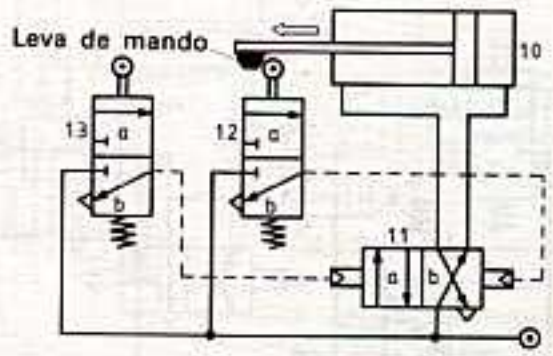


Figura 4-126. Control dependiente del recorrido.

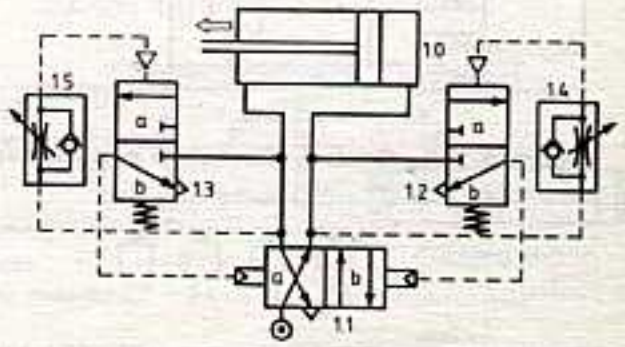


Figura 4-127. Control dependiente del tiempo.

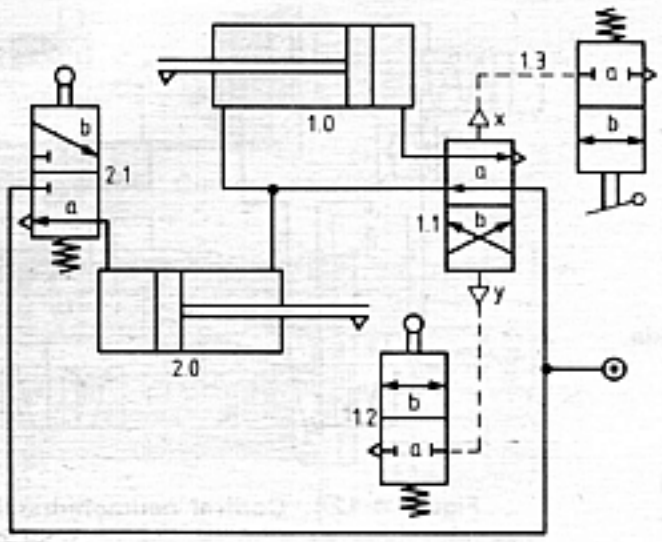


Figura 4-128. Control de secuencia dependiente del recorrido.

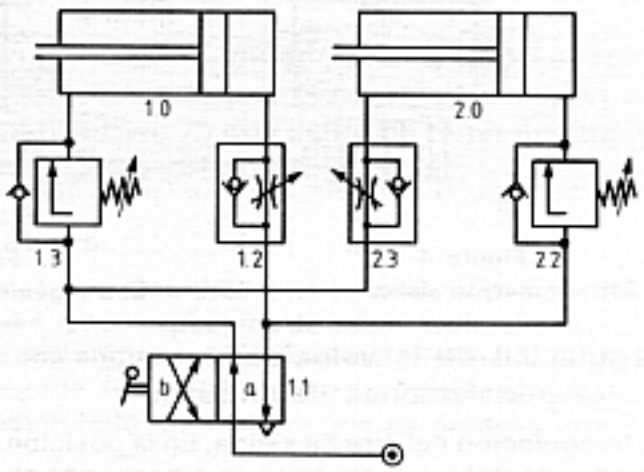


Figura 4-129. Controles de secuencia dependientes de la presión.

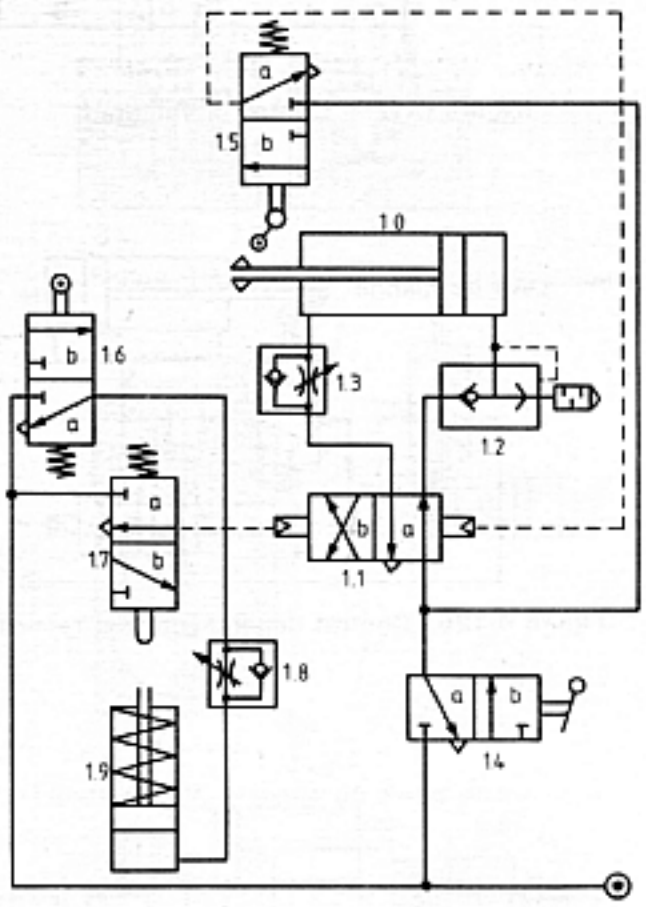


Figura 4-130. Control alternativo con retardo.

Mandos secuenciales de dos cilindros

El mando secuencial dependiente del recorrido se controla en el caso de la figura 4-128 a través de impulso negativo, es decir que en la válvula distribuidora principal 1.1 están a presión ambos lados x e y y el émbolo distribuidor se desplaza hacia el lado que se descarga mediante una de ambas válvulas de maniobra 1.2 o 1.3. Las flechas en x e y indican hacia afuera, es decir, en sentido de descarga. En el ejemplo de trabajo la válvula 1.3 se lleva manualmente a la posición *b* y de este modo 1.1 descarga por arriba, quedando 1.1 ahora en la posición *b*. El cilindro 1.0 sale y cuando llega a la posición final cambia 2.1 a posición *b*. Ahora el cilindro 2.0 sale y cuando llega a la posición final hace cambiar 1.2 a posición *b*, con lo cual 1.1 se descarga por abajo y retorna a la posición *a*. Los cilindros vuelven a la posición de partida. El nuevo ciclo de trabajo no comienza mientras no se acciona a mano 1.3. ¿Dónde tendría que estar dispuesta 1.3 para que el ciclo de trabajo continuase automáticamente?

El mando secuencial dependiente de la presión hace que el segundo cilindro no entre en acción hasta que ha actuado completamente el primero. La válvula 1.1 pasa a posición *b* accionada a mano. El cilindro 1.0 sale hasta que hace tope y la presión del aire aumenta tanto que vence la válvula limitadora de presión 2.2 y pone en acción al cilindro 2.0 con una velocidad ajustada en el regulador de caudal con retención 2.3.

Una vez conmutada la válvula 1.1 a posición *a*, retrocede el cilindro 2.0, y únicamente cuando llega a su posición final, la presión del aire aumenta tanto que, a través de la válvula 1.3, retrocede también el cilindro 1.0 con la velocidad ajustada en 1.2.

Mando alternativo

En un mando alternativo con retardo el cilindro debe salir con velocidad ajustable, luego permanecer en posición de reposo durante un tiempo también ajustable y retroceder con marcha rápida. Una vez que 1.4 se ha llevado a la posición *b*, el cilindro 1.0 sale, regulándose el aire de salida en 1.3. En la posición final del cilindro se acciona 1.6 que pasa a posición *b*, con lo cual el cilindro 1.9 sale con la velocidad regulada en 1.8, haciendo que 1.7 cambie a posición *b*, de manera que el aire de maniobra conmuta 1.1 a posición *b*. A través del regulador de caudal con retención 1.3 retrocede rápidamente el cilindro 1.0, saliendo el aire del cilindro por la válvula de escape rápido y el silenciador. Cuando el cilindro 1.0 llega a la posición final, la válvula distribuidora se lleva de nuevo a la posición A, a través de 1.5, con lo cual comienza de nuevo el ciclo de trabajo.

La instalación dosificadora y envasadora de líquidos representada en la figura 4-000, funciona de forma totalmente automática con ayuda de seis cilindros neumáticos y de las válvulas necesarias. La persona que maneja la instalación únicamente tiene que vigilar que la máquina funcione bien y se ocupa de poner a disposición fuera de la máquina los envases vacíos y de retirar los llenos.

Desarrollo del trabajo: El cilindro 1.0 empuja los cuatro envases vacíos desde la estación de entrada a la de envasado. Únicamente cuando los cuatro envases hacen tope cada uno en su válvula de maniobra (2.2, 2.4, 2.6, 2.8), comienza el cilindro 2.0 a hacer bajar, hacia los envases preparados, cuatro tubuladuras envasadoras montadas en un travesaño (viga transversal). El émbolo del cilindro 2.0 se «sujeta» por medio de una válvula reguladora de caudal con retención dispuesta en la tubería de escape, con el fin de que no caiga debido al peso del travesaño, de las tubuladuras envasadoras y de los cilindros 3.0. Cuando se alcanza la posición más baja los cilindros 3.0, 4.0 y 5.0 reciben a través de la válvula de mando 3.2 la orden de salir. Bajo la denominación cilindros 3.0 se han de entender cuatro cilindros iguales que se controlan conjuntamente y abren o cierran las válvulas envasadoras que hay en las tubuladuras.

Al mismo tiempo el cilindro 4.0 suspendido de forma que puede inclinarse, conmuta las válvulas envasadoras principales, de manera que el cilindro 5.0 que sale igualmente al mismo tiempo, acciona a través de un travesaño los cuatro émbolos dosificadores de las cámaras dosificadoras impulsando de este modo el líquido de las cámaras dosificadoras a los envases, pasando por las válvulas envasadoras principales, los tubos flexibles, las válvulas envasadoras y las tubuladoras envasadoras.

La velocidad de salida del cilindro 5.0 se regula (reduce) a través de un regulador de caudal con retención (como en el caso del cilindro 2.0), con el fin de que el líquido fluya a los envases de forma tranquila y no a borbotones.

La dosificación del líquido en las cámaras dosificadoras se efectúa ajustando exactamente la longitud de carrera del cilindro 5.0.

Despues de una carrera corta de salida del cilindro 5.0, éste ha entregado ya al cilindro 1.0 a través de la válvula de mando 1.3 la orden de retroceder.

Cuando el cilindro 5.0 ha alcanzado su posición final, lo que significa que se ha expulsado la totalidad del líquido de las cámaras dosificadoras, da la orden de retroceder a los cilindros 2.0, 3.0, 4.0, a través de la válvula de maniobra 3.3. Las válvulas envasadoras principales se conmutan mediante el cilindro 4.0, de manera que puede fluir líquido del tanque a las cámaras dosificadoras. Los cilindros 3.0 cierran las válvulas de las tubuladuras de envasado y el cilindro 2.0 levanta de los envases toda la instalación envasadora.

Un poco antes del proceso de elevación, el cilindro 2.0, a través de la válvula de mando 6.2, da a los cilindros 6.0 la orden de empujar los envases llenos de la estación envasadora a la cinta transportadora. El cilindro 6.0, al final de su recorrido, inicia inmediatamente su movimiento de retroceso mediante accionamiento de la válvula de mando 6.3 y al final de este retroceso el cilindro 6.0 inicia mediante la válvula de mando 1.2 un nuevo ciclo de trabajo o un proceso de envasado. Cuatro nuevos envases vacíos se empujan a la estación envasadora, etc.

El esquema neumático de la figura 4-133 muestra la disposición de los cilindros y de las válvulas para dosificadoras y envasadoras automáticas, en una representación y numeración sistemática recomendada por la VDMA (Verein deutscher Maschinenbauanstalten). En la parte superior están los cilindros con los números fundamentales y debajo las válvulas a ellos pertenecientes, designadas con los números fundamentales ampliados.

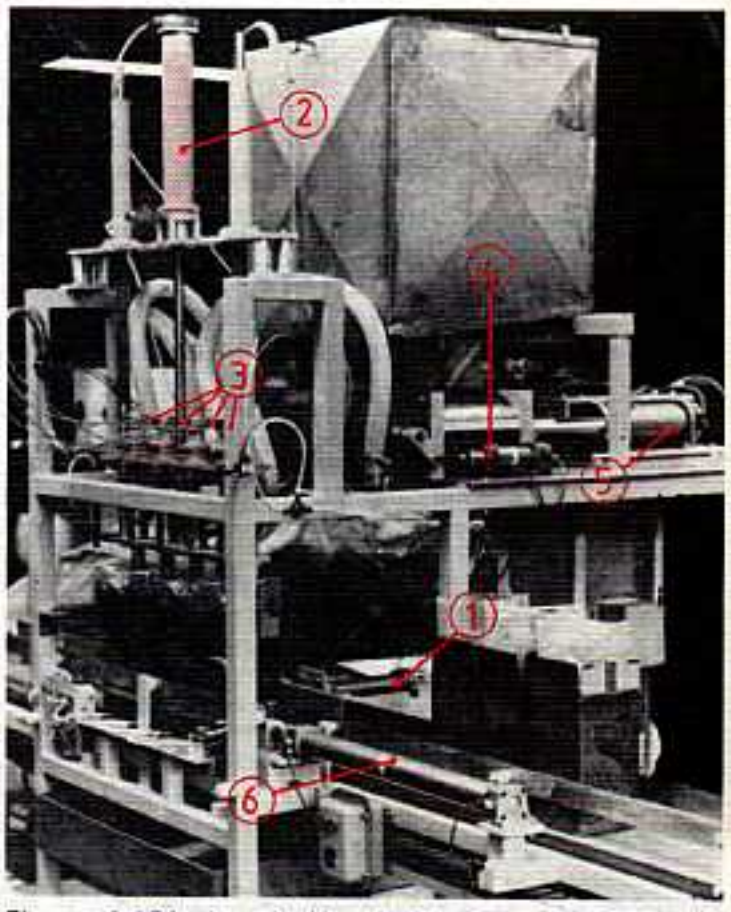


Figura 4-131. Instalación dosificadora y envasadora para líquidos

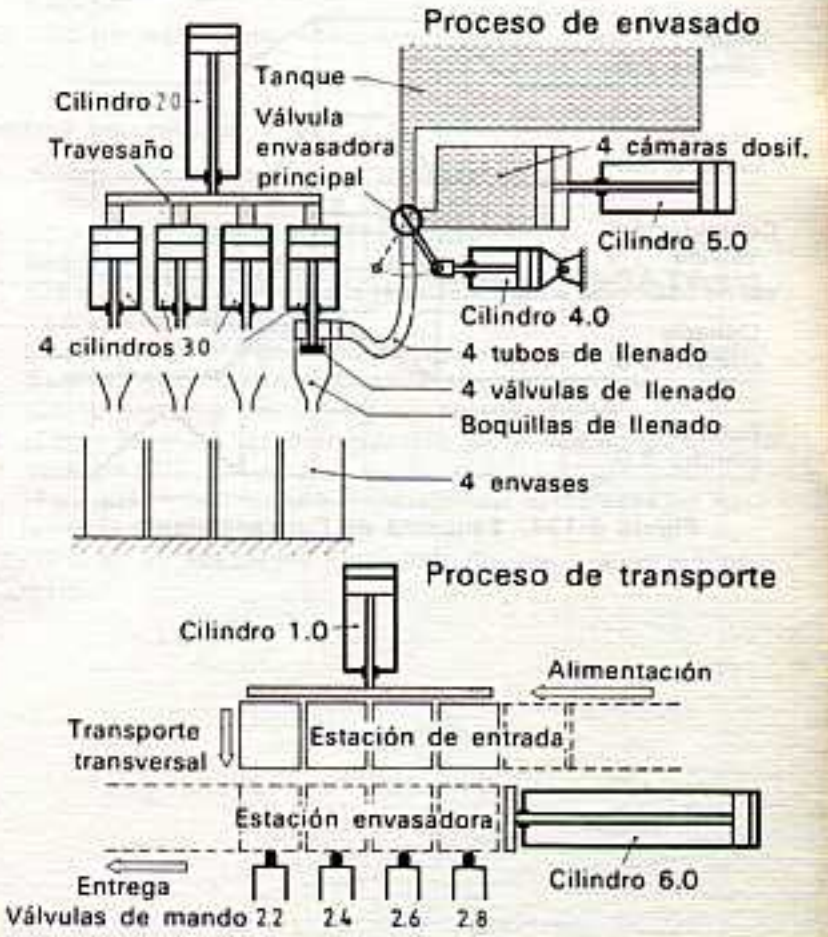


Figura 4-132. Plano de situación esquemático de los elementos de accionamiento neumáticos (cilindros).

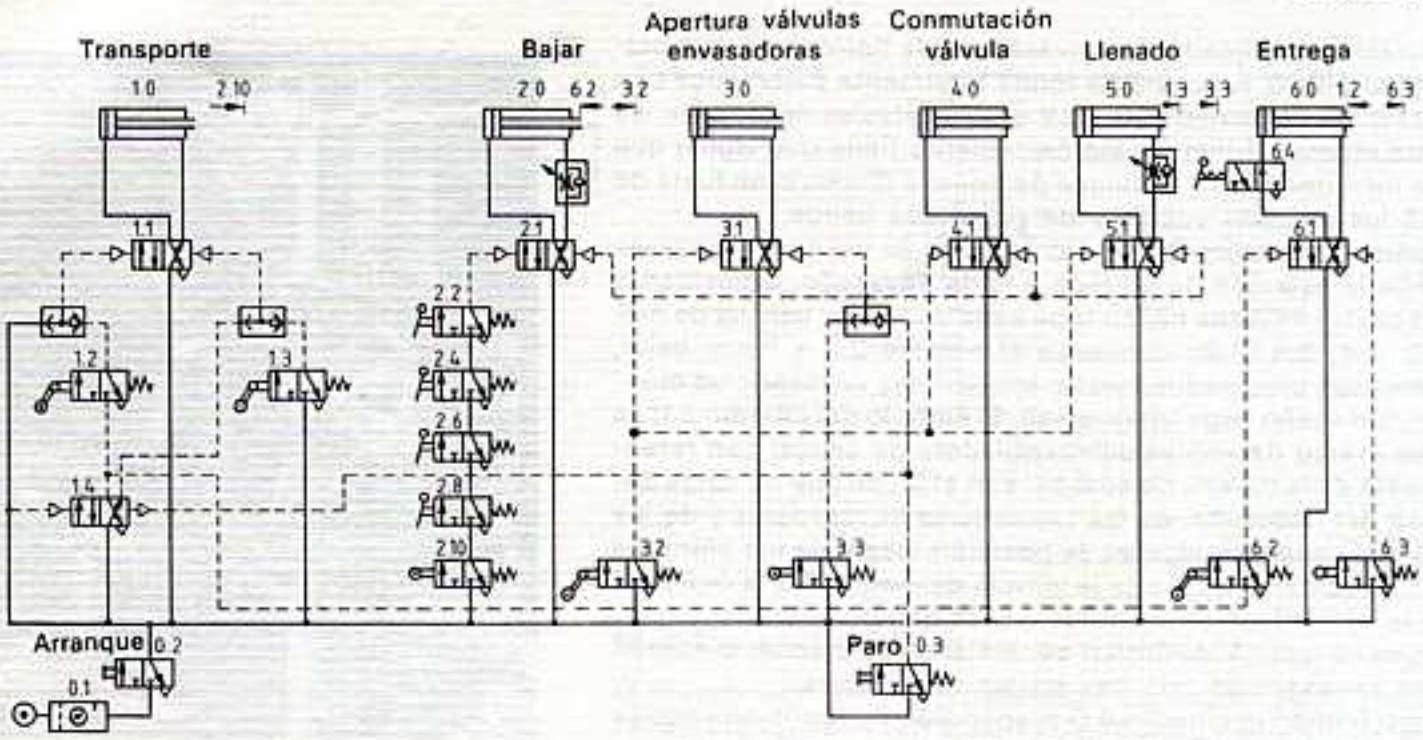


Figura 4-133. Esquema neumático.

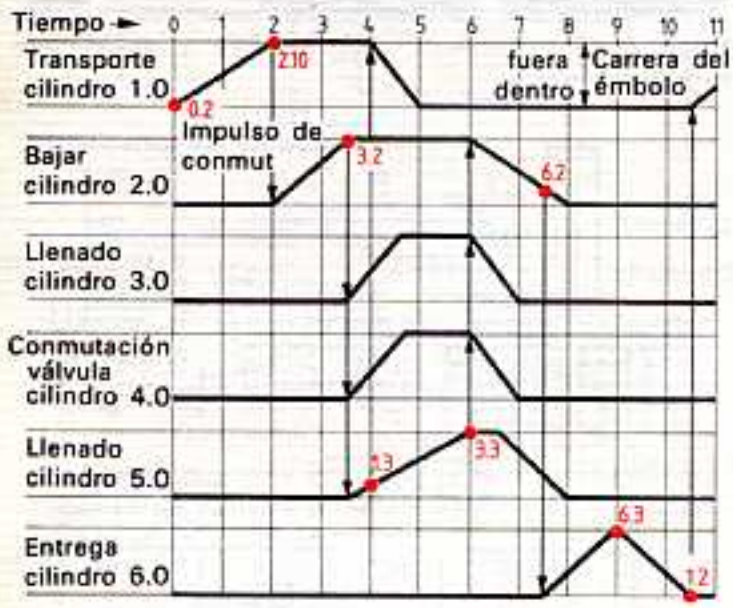


Figura 4-134. Esquema de funcionamiento.

En la siguiente descripción el esquema contiguo (figura 4-134) muestra las relaciones funcionales. Los puntos rojos representan el accionamiento de una válvula (observar el número) y las flechas que parten de ellos muestran los movimientos de los cilindros que tienen lugar por esta causa. Así, cuando el cilindro 1.0 ha salido después de dos unidades de tiempo, por ejemplo segundos, acciona la válvula 2.10 y provoca con ello el movimiento de salida del cilindro 2.0.

Sucesión de los diversos pasos: El arranque se efectúa en la válvula 0.2, con lo cual hay aire en todas las tuberías principales, todos los cilindros están en posición de retroceso. Llega aire de maniobra a la válvula 1.4 y al mismo tiempo a 1.1 a través de la válvula selectora de circuito. Ambas válvulas cambian hacia la derecha. El cilindro 1.0 sale, empuja los cuatro recipientes contra las válvulas 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, que cambian hacia la derecha.

El cilindro 1.0 acciona la válvula 2.10. Ahora pasa aire de maniobra por 2.10, 2.8, 2.6, 2.2, hasta 2.1, y cambia esta válvula hacia la derecha. El cilindro 2.0 sale contra aire de salida estrangulado.

El cilindro 2.0 acciona la válvula 3.2, con lo cual las válvulas 3.1, 4.1 y 5.1 reciben aire de maniobra y cambian hacia la derecha. Los cilindros 3.0, 4.0 y 5.0 salen, este último contra aire de salida estrangulado.

El cilindro 5.0 acciona la válvula 1.3, la cual entrega aire de maniobra a la válvula 1.1 a través de la válvula selectora y la hace cambiar hacia la izquierda. El cilindro 1.0 retrocede.

El cilindro 5.0 acciona la válvula 3.3. Pasa aire de maniobra por la válvula selectora a las válvulas 2.1, 3.1, 4.1 y 5.1 y las cambia hacia la izquierda, con lo cual retroceden los cilindros 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0.

El cilindro 2.0, al retroceder, acciona la válvula 6.2, con lo cual llega aire de maniobra a la válvula 6.1, la cambia hacia la derecha y sale el cilindro 6.0. Al final del recorrido reacciona la válvula 6.3. El aire de maniobra que pasa por la válvula 6.3 cambia la válvula 6.1 hacia la izquierda y el cilindro 6.0 retrocede.

Con esto el cilindro 6.0 hace que reaccione la válvula 1.2 que, a través de la válvula selectora del circuito 1.1, cambia hacia la derecha y hace que salga el cilindro 1.0 y comienza el nuevo ciclo de trabajo.

Ejercicios

Automatización de la fabricación

Control hidráulico

1. ¿Dónde se emplean las instalaciones hidráulicas?
2. Establecer la diferencia entre hidrostática e hidrodinámica.
3. Describir la propagación de la presión en recipientes cerrados.
4. ¿Por qué tienen el fondo abombado los recipientes a presión?
5. Describir la multiplicación de fuerza.
6. Describir la multiplicación de recorrido.
7. Describir la multiplicación de presión.
8. Describir el funcionamiento de una bomba de desplazamiento volumétrico.
9. ¿Cómo trabaja una bomba de engranajes?
10. Describir el principio fundamental de una bomba de paletas.
11. Establecer la diferencia entre bombas de paletas con anillo excéntrico y con anillo ovalado.
12. Establecer la diferencia entre bombas de émbolo, axiales de caudal constante y regulable.
13. ¿Qué son los motores hidráulicos?
14. ¿Cuál es el cometido de una válvula limitadora de presión?
15. ¿Qué es un equipo de accionamiento?
16. Citar los cometidos del depósito de líquido.
17. Establecer la diferencia entre estrangulador y diafragma.
18. ¿Qué se entiende por diferencia de presión en las válvulas reguladoras de caudal?
19. Establecer la diferencia entre válvulas reguladoras de caudal de dos vías y de tres vías.
20. Describir los diferentes tipos de cilindros.
21. ¿Cuál es el cometido de una válvula direccional?
22. Establecer la diferencia entre válvulas direccionales 2/2, 3/2, 4/2 y 4/3.
23. ¿De qué modo pueden accionarse las válvulas direccionales?
24. ¿En qué casos debe «sujetarse» un émbolo hidráulico?
25. ¿Qué propiedades deben tener los aceites hidráulicos?
26. ¿De qué están fabricados los aceites hidráulicos?
27. Describir varios tipos de válvulas de cierre.
28. ¿Cómo funciona una válvula reguladora de caudal con retención?
29. ¿Cuándo se utiliza una válvula de retención maniobrada a distancia?
30. Dibujar los símbolos hidráulicos para:
    a) Bombas y motores hidráulicos
    b) Válvulas para el control de la presión
    c) Válvulas direccionales
    d) Válvulas de cierre
    e) Cilindros
    f) Válvulas estranguladoras.
31. ¿Cómo funciona un manómetro de resorte tubular?
32. Explicar el cometido y funcionamiento de un filtro de aceite.
33. ¿De qué modo puede acumularse una cantidad de aceite a presión?
34. Establecer la diferencia entre acumulador de émbolo y acumulador de recipiente flexible.
35. Establecer la diferencia entre corriente laminar y corriente turbulenta en las tuberías.
36. ¿Cómo se comportan recíprocamente la velocidad de flujo y la resistencia de las tuberías?
37. ¿De qué modo influyen en la resistencia de las tuberías el diámetro, la longitud y la disposición de las mismas?
38. ¿Cómo está constituido un racor con anillo cónico cortante?
39. ¿Qué ventaja tienen los racores en ejecución a tope?
40. ¿Cuándo se emplean las uniones embridadas?
41. ¿Por qué tienen que purgarse las instalaciones hidráulicas?
42. ¿Cómo trabaja un purgador automático?
43. ¿Qué ha de observarse cuando se montan los tubos?
44. ¿De qué modo se evitan las oscilaciones y vibraciones en las tuberías?
45. Citar las cuatro reglas que han de observarse al montar tubos flexibles.
46. Explicar el funcionamiento de los acoplamientos enchufables para tubos flexibles.
47. ¿Qué son los mandos secuenciales?
48. Establecer la diferencia entre mandos secuenciales dependientes del recorrido y dependientes de la presión.
49. ¿Qué es un mando de carrera rápida y de avance?
50. ¿Qué es un circuito de regulación?
51. ¿En qué se diferencian esencialmente la hidráulica y la neumática?
52. ¿Qué ventajas e inconvenientes tienen la hidráulica y la neumática?

Control neumático

53. ¿Cómo se produce aire comprimido?
54. ¿Cómo se prepara el aire comprimido?
55. ¿Qué es un equipo de mantenimiento?
56. Describir válvulas neumáticas.
57. ¿De qué modo se efectúa la regulación de la velocidad en las instalaciones neumáticas?
58. Establecer la diferencia entre controles a voluntad, dependientes del recorrido y dependientes del tiempo.
59. ¿Cómo funciona una válvula de escape rápido?
60. ¿Cómo funciona la amortiguación hidráulica de un cilindro neumático?
61. ¿Para qué cometidos son especialmente apropiadas las instalaciones neumáticas?
62. ¿Qué es un «esquema funcional» de una instalación neumática?

5 Técnica de montaje

5.1 Tolerancias y ajustes

5.1.1 Tolerancias

TOLERANCIAS ISO

En la mecanización de una pieza o agujero es imposible respetar exactamente la medida indicada en el dibujo. Por lo tanto ha de admitirse una cierta desviación (tolerancia).

Esta desviación admisible está delimitada por una cota máxima y una cota mínima. La medida real o efectiva de la pieza debe hallarse dentro de esas cotas límite. Con el fin de no tener que indicar en un dibujo las dos cotas límite, lo que sería muy complicado, la tolerancia o el margen de tolerancia viene indicado por las dos diferencias de medida respecto de la nominal. Esto tiene además la ventaja de que las piezas que habrán de montarse más tarde llevan la misma medida nominal y por tanto puede reconocerse fácilmente su correspondencia recíproca.

Cota nominal *N* es la medida indicada en el dibujo, y con la que puede denominarse la pieza.

Cota máxima *G* es la medida máxima admisible. No puede ser sobrepasada por la medida real de la pieza.

Cota mínima *K* es la medida mínima admisible. La medida real de la pieza no puede quedar por debajo de esta cota mínima.

Cota límite. Las cotas máxima y mínima se llaman cotas límite.

Diferencia superior A_o es la diferencia entre la medida nominal y la máxima.

Diferencia inferior A_u es la diferencia entre la medida nominal y la mínima.

Cota real *I*. Es la medida determinada por la medición realizada en la pieza. Debe hallarse comprendida entre las cotas límite.

Tolerancia *T*. Es la diferencia entre las cotas límite.

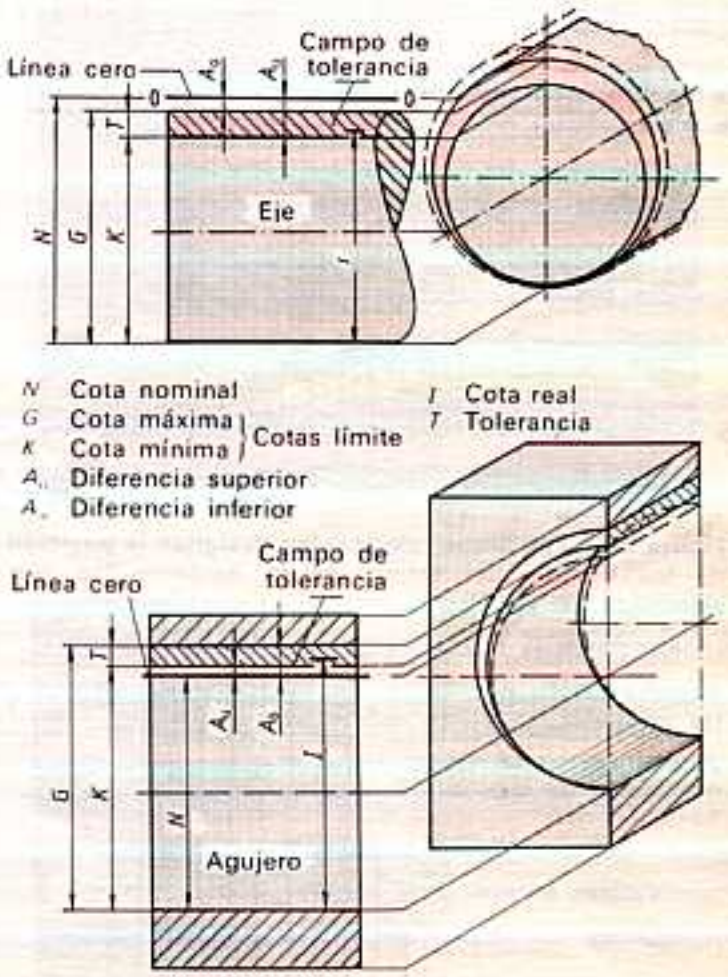


Figura 5-1. Designaciones en piezas con tolerancia.

Representación simplificada de los campos de tolerancia

En la teoría de los ajustes el campo o intervalo de tolerancia se dibuja en su posición respecto de la línea cero, para lo cual se escriben las diferencias en µm (micrómetro = 1/1 000 000 m). Las diferencias por encima de la línea cero son **diferencias en más**, las diferencias por debajo de la línea cero son **diferencias en menos**.

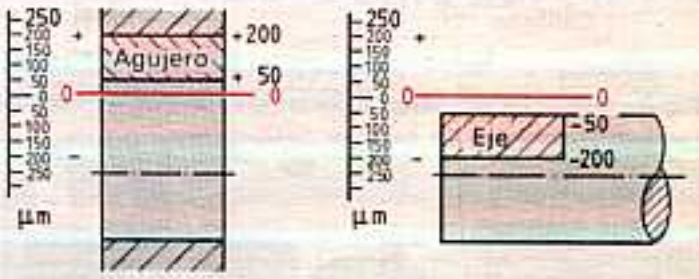


Figura 5-2. Representación simplificada de los campos o intervalos de tolerancia.

Posiciones del campo de tolerancia respecto de la línea cero

El campo de tolerancia puede adoptar fundamentalmente cinco posiciones distintas respecto de la línea cero.

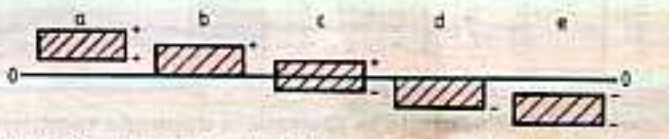


Figura 5-3. Un campo de tolerancia puede adoptar cinco posiciones diferentes respecto de la línea cero.



Figura 5-4. Las letras minúsculas designan la posición de los campos de tolerancia en los ejes (se han suprimido zb y zc).

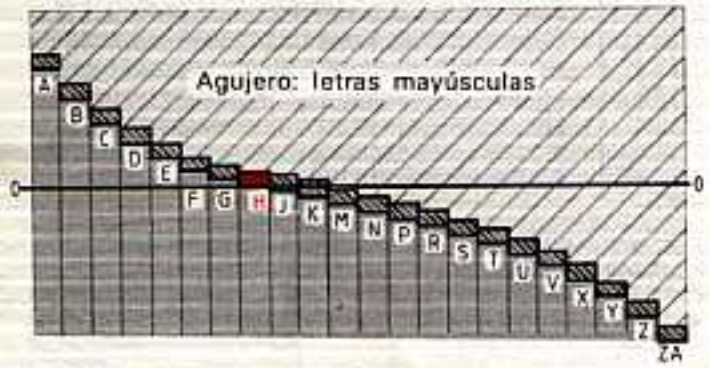


Figura 5-5. Las letras mayúsculas designan la posición de los campos de tolerancia en agujeros (se han suprimido ZB y ZC).

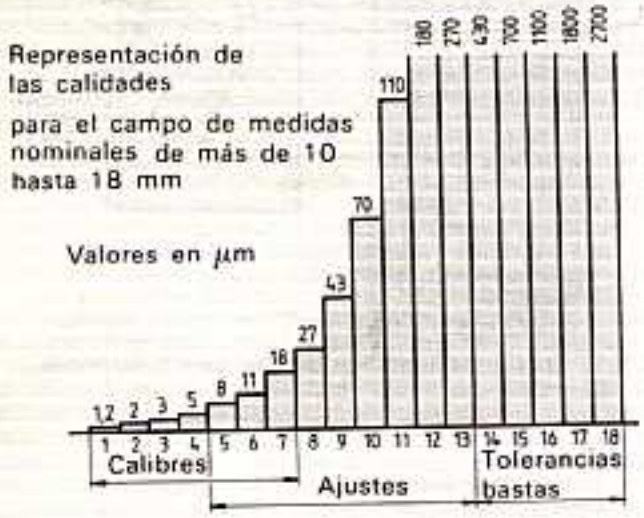


Figura 5-6. Los números indican los valores de las tolerancias (Números de calidad ISO).

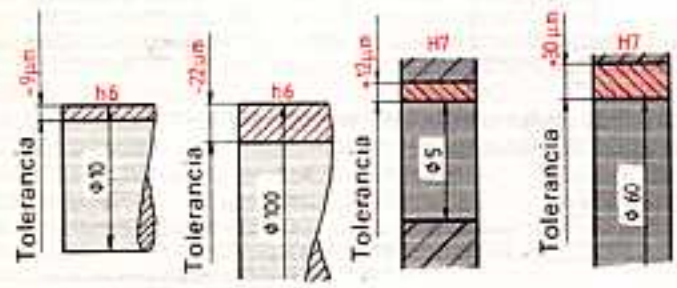


Figura 5-7. El valor de la tolerancia depende también de la cota nominal.

a) El campo de tolerancia se halla por encima de la línea cero. La cota real es por lo tanto mayor que la nominal.
b) El campo de tolerancia toca la línea cero por encima. La cota real puede ser mayor que la cota nominal como máximo en el valor de la tolerancia.
c) El campo de tolerancia se halla a ambos lados de la línea cero. La cota real se halla por lo tanto próxima a la cota nominal.
d) El campo de tolerancia toca la línea cero por debajo. La cota real puede ser más pequeña que la cota nominal como máximo en la cuantía de la tolerancia.
e) El campo de tolerancia se halla por debajo de la línea cero. La cota real es menor que la cota nominal.

Designación de las posiciones de los campos de tolerancia por medio de letras

Las cinco posiciones fundamentales de los campos de tolerancia no bastan en la práctica. Por tanto, se han fijado 24 (28) posiciones que se designan con las letras del alfabeto. Para evitar confusiones se excluyen las letras I, L, O, Q y W (i, l, o, q y w) y por otro lado se añaden las combinaciones de letras ZA, ZB y ZC (za, zb y zc). Según la norma ISO se han incluido además campos intermedios con las designaciones CD, EF, FG y JS (cd, ef, fg y js) para diámetros nominales de hasta 10 mm.

Desiganción de los valores de tolerancia mediante números (calidades ISO)

El valor de la tolerancia en la medida de una pieza depende del destino de la misma. En la fabricación de un instrumento de medición (bloque calibrador o galga) se prescriben tolerancias pequeñas. Cuando se trata de piezas de trabajo que se montan con otras formando ajustes, se eligen tolerancias medias, y en la fabricación de productos semiacabados, por ejemplo redondos de acero o angulares laminados, se eligen tolerancias amplias.

En el dibujo de la figura 5-6 están representados los valores de las tolerancias para el campo de cotas nominales de 10 a 18 mm. Se designan mediante las cifras de calidad ISO 1 a 18. Según la normalización, la serie va precedida además de las dos pequeñas cifras de calidad 0,1 y 0, de manera que puede elegirse entre 20 calidades.

Campos de cotas nominales

Las cotas nominales de 1 a 500 mm se han subdividido en campos de cotas nominales con el fin de que no haya que fijar un valor de tolerancia para cada una de las medidas nominales posibles.

Campo de cota nominal, más de 1 hasta 3 mm
más de 3 hasta 6 mm
más de 6 hasta 10 mm y
más de 10 hasta 18 mm, etc.

Dependencia de los valores de tolerancia con respecto al campo de cotas nominales

Un eje de tolerancia h6 tiene, en el campo de cota nominal «más de 6 hasta 10», un valor de tolerancia de 9 µm. Con la misma tolerancia (h6) un eje en el campo de cota nominal «más de 80 hasta 100» tiene una tolerancia de 22 µm.

1. **Sólo se fija tolerancia para las medidas cuando lo exige el destino de las piezas.**
2. **Las posiciones de los campos de tolerancia se caracterizan mediante letras. Para árboles letras minúsculas y para agujeros letras mayúsculas.**
3. **Los valores de las tolerancias dependen de:**
   a) el número de calidad elegido según la finalidad de empleo.
   b) el valor de la medida nominal.

5.1.2 Ajustes

TIPOS DE AJUSTE

Con la actual división del trabajo y debido a la intercambiabilidad de los repuestos, las piezas han de ajustar entre sí de acuerdo con su función sin necesidad de realizar en ellas trabajos posteriores.

El eje o árbol fabricado por la empresa «x» tiene que ajustar con el cojinete fabricado por la empresa «y» de manera que se logre la función preestablecida, por ejemplo que el eje gire en el cojinete con pequeño juego. A este fin se han creado los ajustes ISO.

El ajuste es la relación entre las medidas de las piezas antes de montarlas.

Ajuste cilíndrico: las piezas tienen superficies de ajuste cilíndricas y se denominan eje (o árbol) y agujero.

Ajuste plano: Las superficies de ajuste de las piezas son planas, las piezas reciben el nombre de parte exterior y parte interior.

En el aspecto funcional se distinguen tres tipos de ajuste.

Ajuste holgado o móvil

Los campos de tolerancia del eje y del agujero han de elegirse de tal manera que en cualquiera de los casos posibles de las medidas reales dentro de las medidas límite, exista un juego (holgura) entre el eje y el agujero. El valor de dicho juego dependerá de las posiciones del campo de tolerancia y de los valores de tolerancia que se elijan. Si se adjudica al agujero el campo de tolerancia H y al eje el campo f, el juego será pequeño. Pero si se establece el campo d para el eje, el juego será varias veces mayor.

El juego puede tener un valor mínimo o un valor máximo.

Juego máximo = valor de la cota máxima del agujero menos valor de la cota mínima del eje.

Juego mínimo = valor de la cota mínima del agujero menos valor de la cota máxima del eje.

Ajuste indeterminado o de transición

Los campos de tolerancia han de interferirse de manera que se produzca o un juego o un apriete.

Juego máximo = valor de la cota máxima del agujero menos el valor de la cota mínima del eje.

Apriete máximo = valor de la cota máxima del eje menos el valor de la cota mínima del agujero.

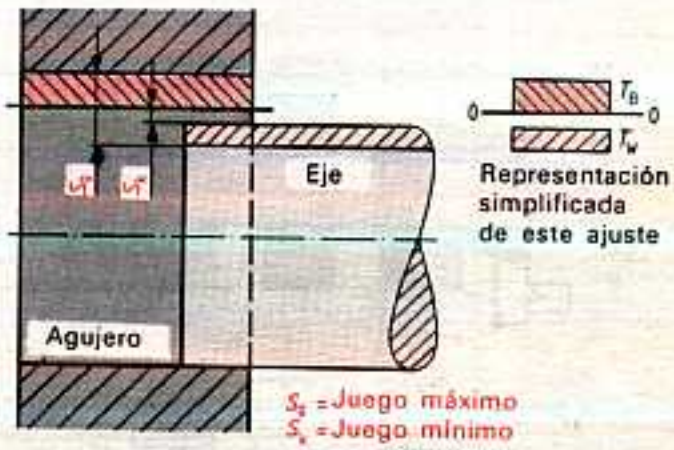


Figura 5-8. Ajuste móvil.

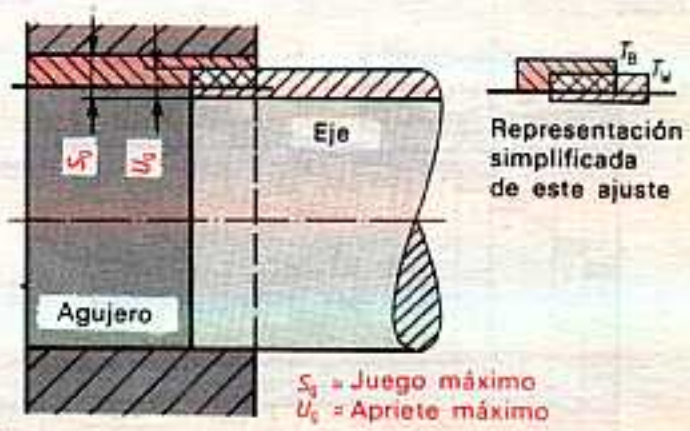


Figura 5-9. Ajuste indeterminado.

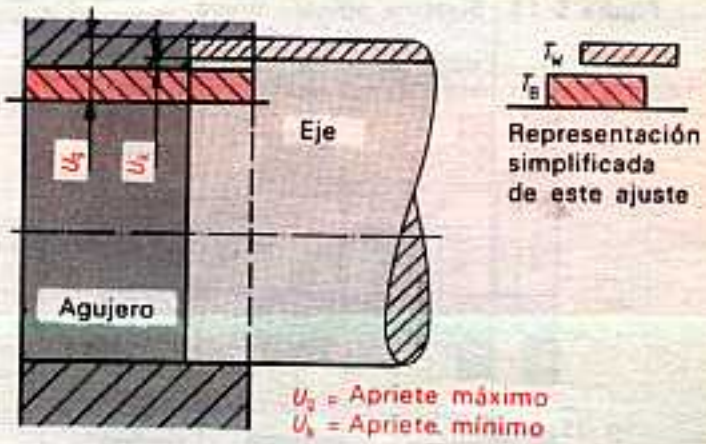


Figura 5-10. Ajuste a presión.

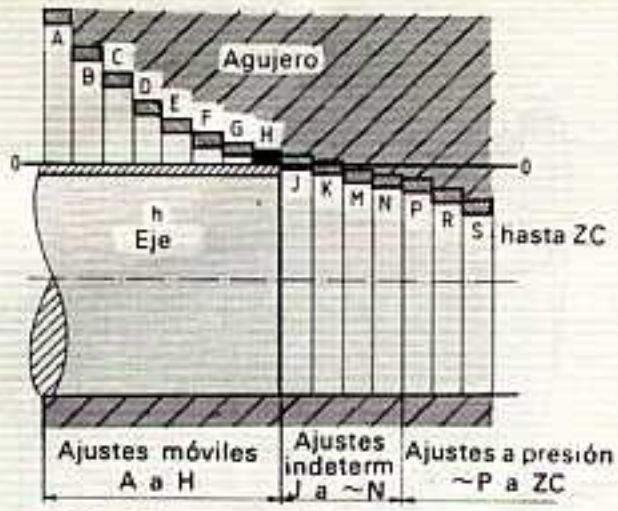


Figura 5-11 Sistema eje único

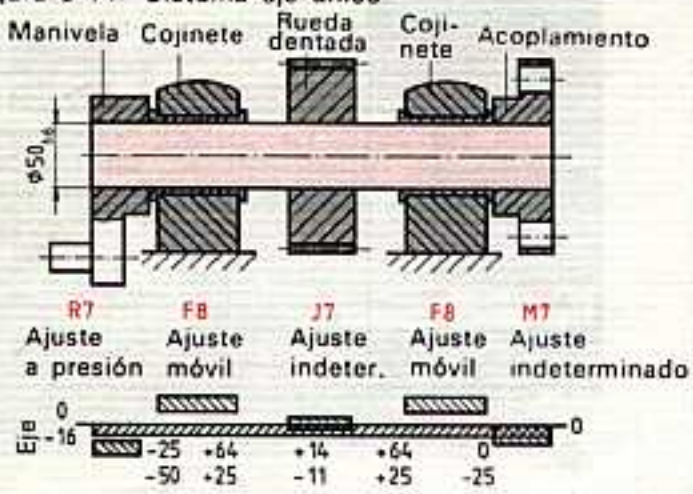


Figura 5-12. Ejemplo de aplicación del sistema eje único.

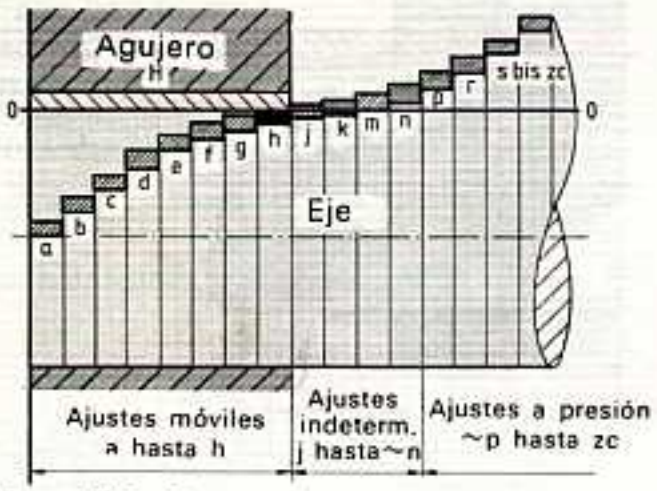


Figura 5-13 Sistema agujero único.

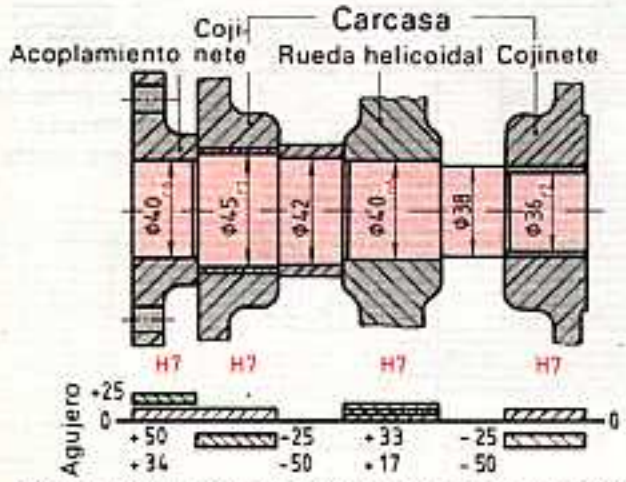


Figura 5-14. Ejemplo de aplicación del sistema agujero único.

Ajuste a presión

Los campos de tolerancia están situados de tal manera que se produce un apriete en cualquiera de las posiciones en que pueden encontrarse las medidas reales. El eje es siempre mayor que el agujero. El campo de tolerancia del agujero H y el campo de tolerancia del eje s producen un pequeño apriete. En caso de que deba ser mayor se elige, por ejemplo, el campo de tolerancia de eje za.

Apriete máximo = valor de la cota máxima del eje menos el valor de la cota mínima del agujero.

Apriete mínimo = valor de la cota mínima del eje menos el valor de la cota mínima del agujero.

SISTEMAS DE AJUSTE

Con el fin de limitar y clarificar las posibilidades de ajuste, se han establecido dos sistemas de ajuste.

Sistema eje único (DIN 7155)

El eje o la pieza interior recibe el campo de tolerancia h. Todos los agujeros o piezas exteriores que deban formar un ajuste con este eje, llevarán campos de tolerancia que correspondan al tipo de ajuste deseado (móvil, indeterminado o a presión) y por tanto a la función prevista.

Eje h; agujeros A hasta H = ajustes móviles
Eje h; agujeros hasta ≈ N = ajustes indeterminados
Eje h; agujeros ≈ P hasta ZC = ajustes a presión

Con el sistema eje único pueden emplearse para un determinado tipo constructivo de máquinas, ejes estirados (h8, h9, h11), ejes calibrados (h8, h9) o ejes rectificados (h5, h6). Estos ejes pueden recibirse de las siderurgias en estado acabado. No requieren ningún tipo de trabajo posterior y están listos para el montaje. El sistema eje único se emplea en las industrias donde son frecuentes los ejes largos de diámetro constante, por ejemplo en la construcción de maquinaria agrícola, en máquinas textiles, en aparejos elevadores y grúas.

Ejemplo de aplicación del sistema eje único

Para cierto conjunto de piezas se emplea un eje acabado con tolerancia h6 como el representado en la figura 5-12. Los elementos, es decir los cojinetes, la manivela, la rueda dentada y el disco de acoplamiento, llevarán una tolerancia tal que se produzca el ajuste deseado. Con esto se ahorra el coste de mecanización del eje.

Sistema agujero único (DIN 7154)

El agujero o la pieza exterior recibe el campo de tolerancia H. El eje llevará la tolerancia correspondiente a los ajustes deseados.

Agujero H; ejes a hasta h = Ajustes móviles
Agujero H; ejes j hasta ≈n = Ajustes indeterminados
Agujero H; ejes ≈p hasta zc = Ajustes a presión

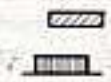
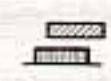
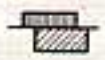
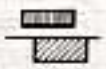
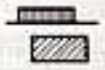
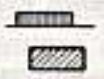
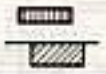
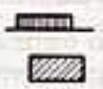
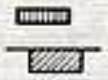
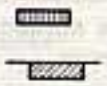
En la construcción de maquinaria en general, y en la construcción de automóviles entre otras, los ejes están generalmente escalonados con el fin de que puedan montarse y fijarse mejor en los cojinetes, ruedas, acoplamientos, etc. En este caso el sistema agujero único ofrece ventajas, puesto que un eje puede dejarse a la medida necesaria mediante torneado y rectificado más fácilmente que, por ejemplo, los taladros de una caja de cambios grande. Por lo tanto, se

decidirán por el sistema de agujero único las empresas en cuya fabricación figuran generalmente ejes escalonados.

Ejemplo de aplicación del sistema agujero único

En este conjunto de piezas todos los agujeros tienen el campo de tolerancia H7. El árbol tendrá en sus diferentes diámetros las tolerancias necesarias para conseguir los ajustes deseados.

ELECCIÓN DE AJUSTE

Agujero único			Representación y descripción			Eje único		
H7	H8	(H11)	Agujeros / Ejes			h6	h9	h11
	u8			**Ajuste a presión con apriete fuerte** Las piezas sólo pueden ensamblarse mediante contracción o dilatación. Se utiliza para ruedas sobre ejes, espigas de manivelas, aros de contracción.				
(s6)				**Ajuste a presión con apriete medio** Las piezas se unen con gran fuerza de montaje o mediante contracción o dilatación. Se utiliza para montar llantas en ruedas, ruedas en ejes.				
r6				**Ajuste a presión con pequeño apriete** Las piezas se pueden unir con fuerza mediana de montaje. Se utiliza para montar casquillos de cojinete en carcasas, coronas dentadas en cuerpos de rueda.				
n6				**Ajuste indeterminado. Apriete grande, juego pequeño.** Las piezas se pueden unir con fuerza pequeña de montaje. Se utiliza para montar acoplamientos, casquillos de cojinete en carcasas, piñones en extremos de árboles.				
(k6)				**Ajuste indeterminado. Apriete y juego aproximadamente iguales.** Puede ensamblarse a golpes de martillo. Hay que asegurar las piezas contra giro. Para acoplamientos, ruedas dentadas, poleas, manivelas.				
(j6)				**Ajuste indeterminado. Apriete pequeño, juego grande.** Puede ensamblarse con ligeros golpes de martillo. Hay que asegurar las piezas contra giro. Para poleas, ruedas dentadas, manivelas.				
h6	h9	(h11)		**Ajuste móvil apenas deslizante.** Las piezas pueden desplazarse. Se utiliza para centrajes, pinolas en sus carcasas, anillos distanciadores.		H7	H8	(H11)
(g6)				**Ajuste móvil deslizante.** Se utiliza para los cojinetes de husillos principales en máquinas herramienta, acoplamientos desplazables, ruedas dentadas de cambio.		(G7)		
	f7			**Ajuste móvil juego pequeño** Se utiliza en general para cojinetes de fricción, émbolos de control y cilindros, ruedas de cambio, ruedas desplazables.		F8	F8	
	(e8)			**Ajuste móvil juego holgado** Se utiliza para cojinetes de fricción con ejes largos o con varios puntos de alojamiento, para cojinetes de cigüeñales y de árboles de tornillos sin fin, alojamientos de palancas.			E9	
	(d9)	(d9)		**Ajuste móvil juego mediano.** Se utiliza para alojamientos en maquinaria de obras públicas y agrícola, cojinetes para accionamientos y mecanismos de traslación de grúas, poleas locas.			D10	D10
		(c11)		**Ajuste móvil juego grande.** Se utiliza para cojinetes con fuerte calentamiento, construcción de maquinaria tosca, soportes de caballete, bulones.			C11	C11
		(a11)		**Ajuste móvil juego muy grande.** Se utiliza para cojinetes con peligro de ensuciamiento y engrase deficiente, excavadoras, uniones articuladas.				(A11)

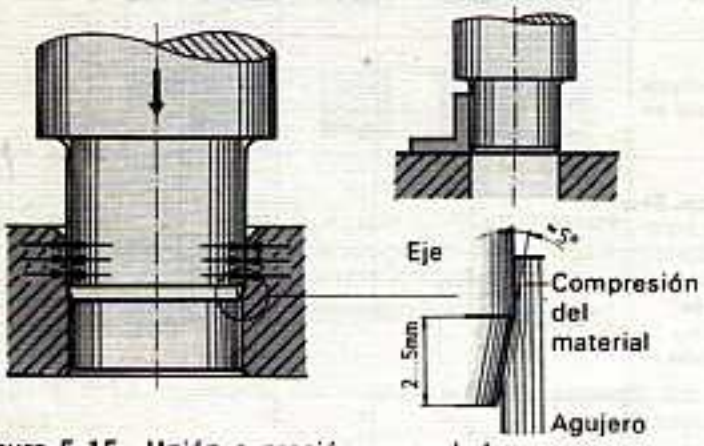


Figura 5-15. Unión a presión por calado.
Mediante la introducción a presión se desplaza y compacta el material

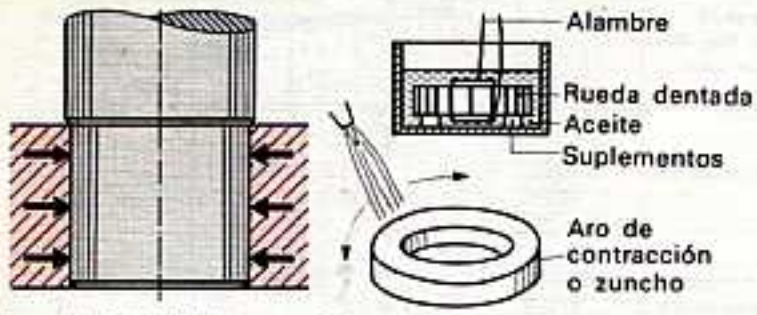


Figura 5-16. Unión a presión por contracción de la pieza exterior.
Al enfriarse la pieza exterior se comprime, produciendo de este modo la necesaria fuerza de sujeción.

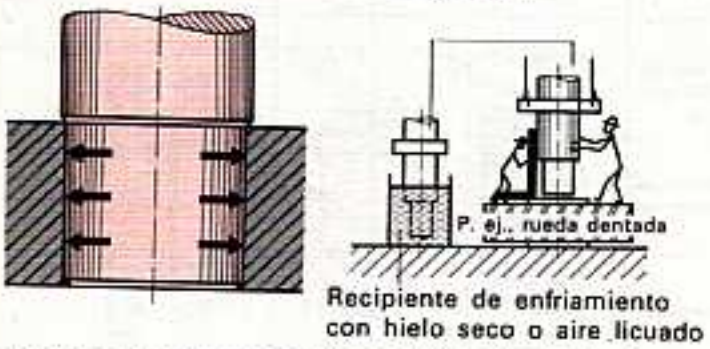


Figura 5-17. Unión a presión por dilatación de la pieza interior.
La pieza interior subenfriada se dilata al calentarse a temperatura ambiente.

Lado izquierdo de la tabla: Sistema agujero único. Las tolerancias H7, H8 y H11 pueden emparejarse con las tolerancias para eje que se encuentran debajo, formando ajustes a presión, indeterminados y móviles.

Lado derecho de la tabla: Sistema eje único. Las tolerancias h6, h9 y h11 pueden emparejarse con las tolerancias para agujeros formando ajustes móviles.

Las tolerancias que no van entre paréntesis pertenecen a la serie 1, las que van entre paréntesis a la serie 2. La serie 1 tiene preferencia sobre la serie 2.

La elección del ajuste según la norma DIN 7157 tiene como finalidad reducir al mínimo el número de herramientas e instrumentos de verificación y medición, mediante la elección de algunos ajustes usados frecuentemente. En la mayoría de los casos prácticos son suficientes estos pocos ajustes. Sólo en casos excepcionales se tomarán ajustes de las tablas DIN 7154 y DIN 7155.

UNIÓN DE ELEMENTOS A PRESIÓN

En los ajustes a presión el eje es siempre mayor que el agujero, es decir que existe apriete.

Unión a presión es el concepto más extenso para una unión con piezas sometidas a tensiones normales (perpendiculares a las superficies), compuesta de eje y cubo que tienen un exceso de medida antes de ensamblarse (ajuste a presión).

Unión a presión mediante calado

La fuerza de montaje actúa en dirección longitudinal. Cuando se trata de aprietes pequeños a medios (p. ej., H/r, s, t, u) el eje puede introducirse a presión en el agujero por medio de una prensa lo bastante potente (reserva de potencia).

Preparación: Hacer en el eje o en el agujero un chaflán de 5 grados y de 2 a 5 mm de longitud según el apriete, con el fin de evitar que haya arranque de material durante el calado. Engrasar el eje y el agujero con aceite de máquinas, aceite de colza, aceite de linaza o aceite de máquina y sebo. El aceite de colza produce la mayor fuerza de adherencia después del ensamble. Alinear previamente las piezas con toda exactitud.

Proceso de ensamble: Calar lentamente con el fin de que el material tenga tiempo suficiente para desviarse. La velocidad de calado será como máximo de 120 mm por minuto. No introducir las piezas a golpes.

Estado: Hasta después de transcurridos aproximadamente dos días no alcanza la unión a presión su resistencia máxima. Si el montaje se realiza correctamente, estos ajustes pueden soltarse y rehacerse varias veces.

Unión a presión mediante contracción y/o dilatación

La fuerza de montaje actúa en sentido transversal al eje. Cuando los aprietes y diámetros son grandes, se calienta la pieza exterior o se enfría la pieza interior para realizar el ensamble. De este modo las piezas pueden unirse a mano o aplicando una pequeña fuerza.

Unión a presión mediante contracción. Las piezas de máquina complicadas o mecanizadas en acabado (ruedas dentadas entre otras) se han de calentar en baños de aceite, de metal o de sales, porque de otro modo se deforman. Las piezas de máquina templadas o bonificadas no deben calentarse hasta la temperatura de revenido.

Las piezas sencillas (arcos de contracción entre otras) y aquéllas que se mecanizan después de realizado el ensamble (coronas de rodadura) pueden calentarse con llama de gas.

Unión a presión mediante dilatación. En este caso la pieza interior se subenfría en dióxido de carbono sólido (hielo seco) a −70°C aprox. o en nitrógeno líquido a −190°C aprox.

Este método se emplea cuando la pieza exterior no puede calentarse a causa de su tamaño, propiedades o tratamiento térmico.

Se utilizan ambos métodos de ensamble cuando los aprietes son muy grandes o cuando la pieza exterior no debe calentarse mucho.

Desmontaje con aceite a presión. Cuando esté previsto desmontar frecuentemente piezas con ajuste a presión, se han de prever en la pieza interior canales de aceite para el desmontaje. El aceite a presión penetra en la ranura periférica y deshace la unión de forma súbita. Cuando se trata de ajustes a presión en piezas de máquina grandes y mucho valor, el constructor facilita indicaciones referentes a los valores de la fuerza de calado necesaria para el ensamble y a la temperatura de calentamiento y subenfriamiento.

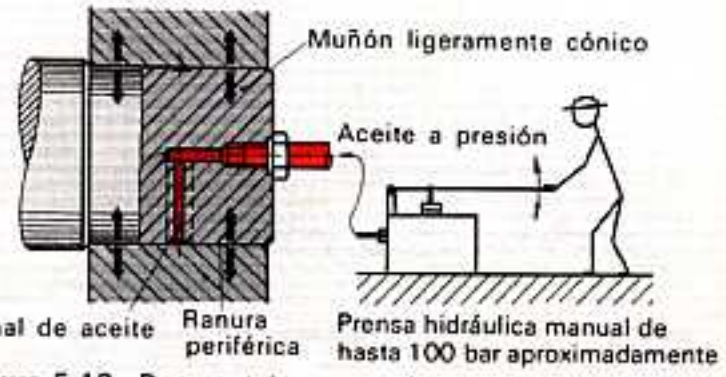


Figura 5-18. Desmontaje con aceite a presión.
El aceite a presión introducido en la ranura periférica hace que se dilate la pieza exterior.

5.2 Superficies técnicas

5.2.1 Forma de la superficie

ERRORES DE LAS SUPERFICIES

Las superficies de las piezas fabricadas técnicamente difieren siempre de su forma geométrica ideal.

En muchos casos, sin embargo, esta diferencia reviste gran importancia para la función del elemento. De las calidades superficiales dependen en gran medida, por ejemplo, el comportamiento frente a la corrosión, la estanqueidad, el comportamiento a la lubricación, las propiedades de fricción y deslizamiento, el comportamiento frente al desgaste, las propiedades de ajuste.

Según la norma DIN 4760 se han de distinguir seis órdenes en lo que respecta a las irregularidades de forma. Las de 5.° y 6.° orden conciernen a la estructura y a la constitución reticular, y no están representadas en este caso. La representación contigua muestra también las posibles causas de los errores de las superficies.

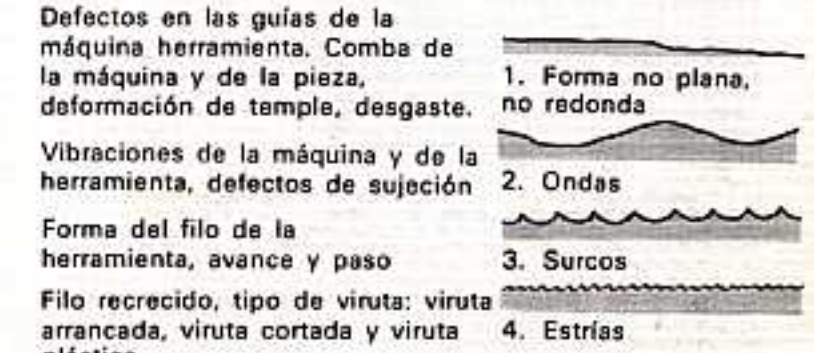


Figura 5-19. Irregularidades de forma.

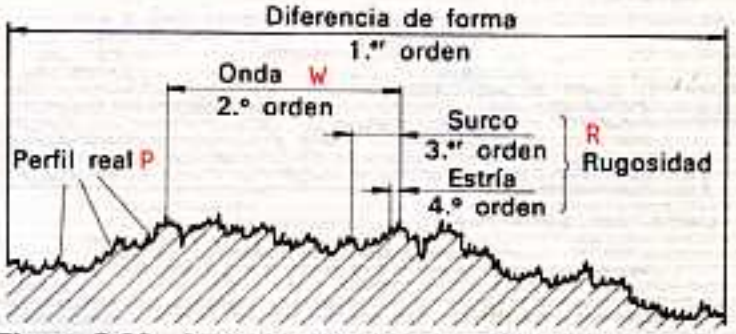


Figura 5-20. Superposición de las irregularidades de forma.



Figura 5-21. Ondulación y rugosidad.

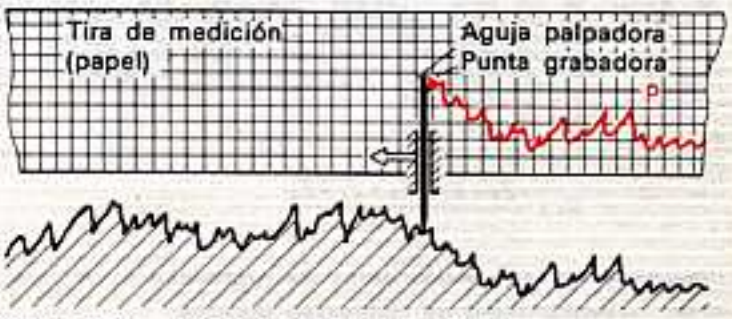


Figura 5-22. Perfil sin filtrar o perfil-P.

Superposición de las irregularidades de forma

No es posible relacionar simultáneamente las cuatro irregularidades de forma con la función de la superficie. Entre otras cosas, las superficies de ajuste no pueden presentar una gran diferencia de forma, las superficies de contacto estanco requieren una pequeña rugosidad y las de deslizamiento pueden presentar cierta ondulación (bolsas de aceite).

Diferencia de forma, ondulación y rugosidad

No están claramente reconocibles los límites entre las diferentes irregularidades de forma. Se habla de diferencia de forma cuando aquélla afecta a toda la superficie. En el caso de las ondulaciones se supone que la longitud de onda es de 100 a 1 000 veces la profundidad de onda. En el caso de la rugosidad, esta relación es de 4 a 50 veces.

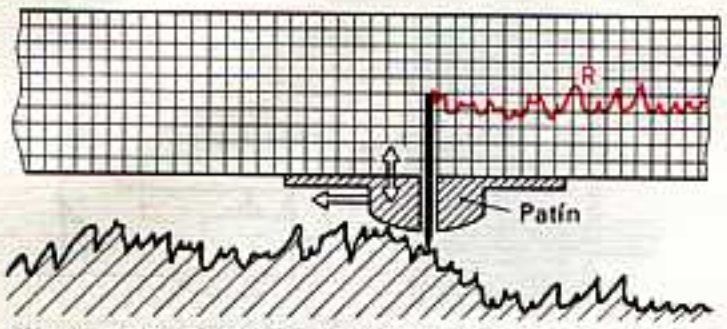


Figura 5-23. Perfil de rugosidad filtrado o perfil R.

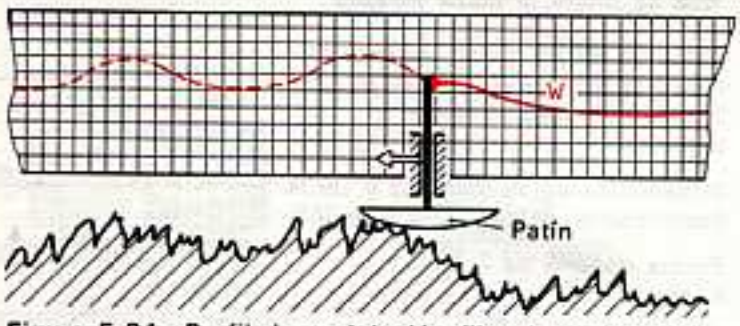


Figura 5-24. Perfil de ondulación filtrado o perfil W.



Figura 5-25. La línea del perfil de referencia toca los picos más altos del perfil y la línea del perfil de base los picos más bajos. La línea media divide al perfil de tal manera que el área de las crestas es igual al área de los valles.

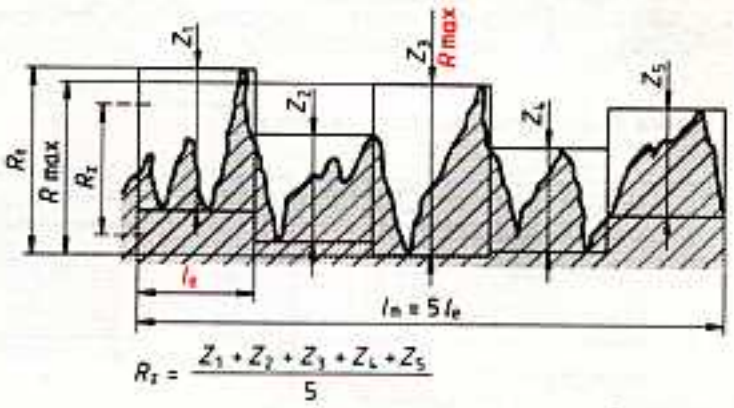


Figura 5-26. Los parámetros de rugosidad R_t, R_{max}, R_z.
R_t = profundidad de rugosidad máxima
R_{max} = profundidad de rugosidad individual máxima
R_z = profundidad media de rugosidad

Filtrado

Al medir la rugosidad del perfil superficial, es preciso averiguar por separado la ondulación y la rugosidad, por lo que respecta a la función de la superficie. Esto puede realizarse mecánicamente, tal y como muestran de forma muy simplifacada las tres figuras contiguas, o bien eléctricamente, mediante supresión de determinadas gamas de frecuencia ajustables en el aparato.

Fundamentalmente, en ambos casos se hace pasar por la superficie una aguja palpadora. El movimiento vertical del palpador en el campo de las micras puede verse en forma de curva en una banda de papel, o como desviación de aguja en un instrumento de medición, una vez amplificado eléctricamente. Cuando se desea el perfil de la rugosidad filtrado (perfil R) el patín y la banda de medición están unidos entre sí, de manera que la banda está siempre a la misma distancia de la «onda» y ésta no se registra. Cuando debe medirse la ondulación, el patín puntea el perfil de la rugosidad.

5.2.2 Metrología

COTAS DE SUPERFICIE Y RUGOSIDAD

Las cotas de superficie y de rugosidad (parámetros) revelan ciertas particularidades. La cota que debe emplearse en cada caso depende del cometido o de la función de la superficie.

Dos ejemplos:

1. Las partes superficiales críticas de elementos de máquinas solicitados dinámicamente (muñequillas de cigüeñales) no pueden presentar estrías (fugas), que se determinan mediante R_{max}.
2. Las superficies de los cojinetes de fricción deben tener una alta capacidad portante y una buena resistencia al desgaste. En este caso puede emplearse R_z.

P_t = Profundidad de perfil (cota de superficie)

El parámetro P_t es la distancia máxima entre el perfil de referencia y el perfil de base. Es la suma de las irregularidades de forma de 1.° a 4.° orden. La medición se efectúa sin filtrado. Se utiliza allí donde además de la rugosidad sean importantes también la ondulación y la diferencia de forma. Émbolos hidráulicos, superficies de deslizamiento.

R_t = Profundidad de rugosidad máxima (R = Cota de rugosidad)

El parámetro R_t es la distancia máxima entre la cresta más alta y el valle más profundo. Sustituida por R_{max} y R_z.

R_{max} = Profundidad individual máxima de las irregularidades

La profundidad individual máxima de las irregularidades dentro de la longitud de medición l_m, se denomina R_{max}. Informa sobre la rugosidad máxima (cresta-valle) pero no sobre la forma del perfil. Las crestas altas y las estrías profundas influyen negativamente en las superficies de contacto estanco, las partes superficiales muy solicitadas de los tornillos de dilatación, los cigüeñales y las piezas de embutición profunda.

R_z = Profundidad media de la rugosidad

Es la media aritmética de las profundidades de rugosidad de cinco tramos de medición colindantes l_e de la misma longitud. Las desviaciones sólo se tienen en cuenta parcialmente. Puede emplearse el parámetro R_z allí donde desviaciones aisladas no perturben la función de la superficie, como por ejemplo cuando se trata de superficies de medición, superficies de ajuste de uniones a presión.

R_a = Valor medio aritmético de la rugosidad

Si se suponen todas las áreas de las crestas hundidas en las áreas de los valles, se produce una superficie geométricamente plana, cuya delimitación se denomina **línea media**. Si se suman ahora todas las áreas de las crestas que se hallan por encima de la línea media con las áreas de los valles que se hallan por debajo de ésta, y el resultado se divide entre la longitud l_m (pensando en el área del rectángulo), se obtiene el parámetro de rugosidad R_a. La determinación de la línea media y el cálculo de R_a son realizados por el aparato de medición. La ventaja de R_a es que los resultados de medición de diferentes lugares de una superficie pueden compararse bien. Es muy apropiado para el control de rugosidad contiguo de la producción.

Para calificar la superficie se dispone de otras 15 a 20 magnitudes de medición, como por ejemplo las profundidades del perfil y de las ondas, el número de estrías, la distancia entre surcos, y otras.

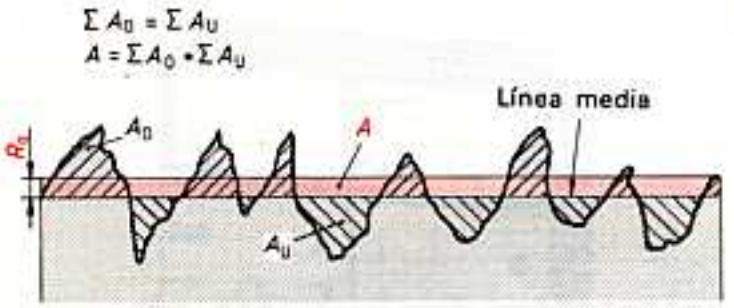


Figura 5-27. El área A es la suma de todas las áres de las crestas A_o y de todas las áreas de los valles A_u.
R_a = valor medio aritmético de la rugosidad.

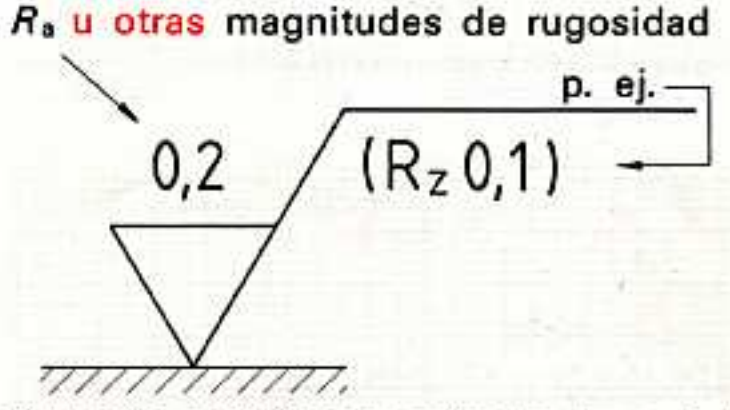


Figura 5-28. Anotación de los parámetros de rugosidad en símbolos.
En lugar de R_z puede anotarse también R_t, R_{max} u otro parámetro de rugosidad, debiendo indicarse siempre entre paréntesis.

PROCEDIMIENTOS DE VERIFICACIÓN Y MEDICIÓN

Los aparatos pertenecientes a la técnica de medición de superficies están muy dependientes del desarrollo de la electrónica y de la técnica de los ordenadores. Su manejo presupone una buena formación y experiencia.

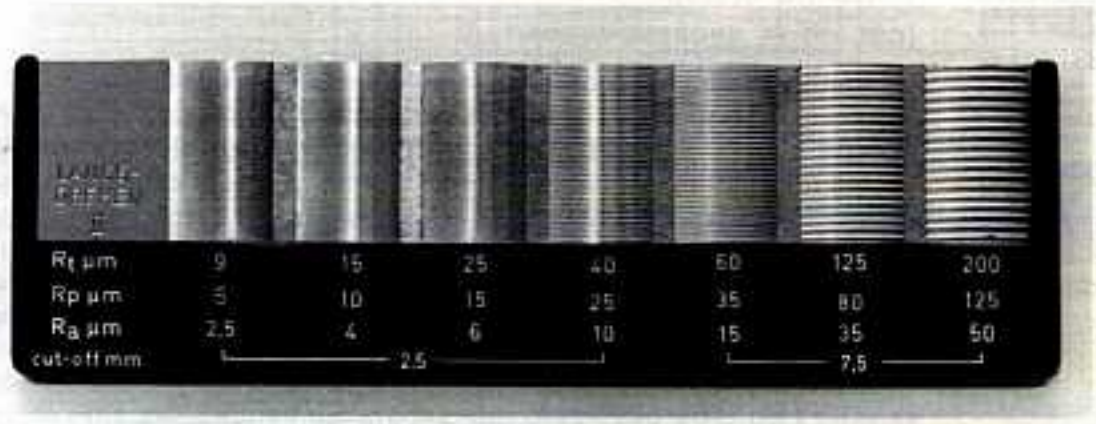


Figura 5-29. Muestras de supeficies de cilindrado longitudinal (materialización de la forma).

Verificación de la rugosidad superficial con muestras de superficies (materialización de la forma)

Pasando la uña del dedo alternativamente por la pieza y la muestra, puede determinarse aproximadamente la rugosidad si se tiene alguna experiencia. En muchos casos es suficiente este procedimiento. Hay muestras superficiales para cilindrado, refrentado, fresado, rectificado, cepillado y mortajado.



Figura 5-30. Pertómetro para la medición de superficies.



Figura 5-31. Perfil de una superficie torneada.
En la parte superior izquierda está anotada la relación de medidas de la curva: verticalmente 10 μm, horizontalmente 200 μm.



Figura 5-32. Aumento horizontal.



Figura 5-33. Aumento vertical.

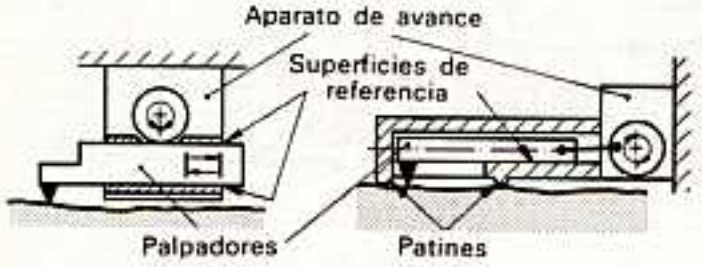


Figura 5-34. Sistema de superficies de referencia (sistema de exploración libre).

Medición de los valores de rugosidad por medio del perfilómetro

Este instrumento consta de la cabeza de medición con micropalpador, y de la parte indicadora de medición y registradora. La cabeza de medición puede fijarse a un soporte cuando se miden piezas pequeñas, o puede colocarse a mano sobre piezas grandes. En ambos casos el micropalpador, con su punta de diamante de 2 a 5 micrómetros de radio en el extremo, se desplaza de 0,4 a 40 mm a lo largo de la superficie de la pieza. La punta del palpador va siguiendo de este modo las más finas hendiduras de la superficie. Los movimientos de subida y bajada de la punta, se amplifican electrónicamente, se traducen y se indican como valores de medición en el indicador del perfil por medio de la desviación de la aguja, o si se prefiere se registran como curva en el registrador de perfiles.

Registro del perfil

Las diferencias de altura se registran aumentadas de 400 a 100 000 veces, según se ajuste el aparato (ampliación vertical). El aumento en sentido horizontal (ampliación horizontal) sin embargo, es de 20 a 100 veces. Debido a esto, la curva registrada se comprime sobre una tira de papel relativamente corta, por lo que la curva parece más accidentada de lo que realmente es la superficie medida.

Ejemplo: Aumento vertical 1 000 veces
Aumento horizontal 100 veces
Recorrido de medición 5 mm

La profundidad de rugosidad de 10 micrómetros aparecerá entonces con una altura de 10 μm · 1 000 = 10 mm en una longitud de tira de papel de 5 mm · 100 = 500 mm. Si se ampliase también 1 000 veces en la horizontal, la figura quedaría a escala, pero la tira de papel tendría 5 metros de longitud, lo cual sería poco claro.

Filtro de ondas
(cut off = separar/descartar)

La finalidad y el principio mecánico del filtrado de ondas ya se explicaron al principio del capítulo. Los perfilómetros eléctricos disponen de filtros de ondas que efectúan, por medios electrónicos, filtrados dependientes de la frecuencia en 5°. En este caso se entiende por frecuencia el número de oscilaciones del palpador en dirección vertical cuando pasa sobre el perfil de la superficie. La mezcla de frecuencias producidas por ondas, surcos y estrías, se hace pasar por el filtro paso alto incorporado en el instrumento de medición y que suprime las frecuencias bajas (ondas). De este modo se mide la rugosidad. Cuando se han de medir la diferencia de forma y la ondulación, se utiliza un filtro paso bajo que separa las frecuencias altas (rugosidad). Valores «cut off» normalizados: longitudes de onda 0,08; 0,25; 0,8; 2,5 y 8 mm.

Con ayuda del filtro es también posible representar superficies cerradas de piezas, por ejemplo flancos de diente y radios, como curva de medición de transcurso rectilíneo, debido a que el filtro paso alto separa la curvatura superficial considerándola como diferencia de forma u onda.

Sistemas de exploración con palpador

Para realizar los múltiples cometidos de medición, se emplean diferentes sistemas de exploración con palpador.

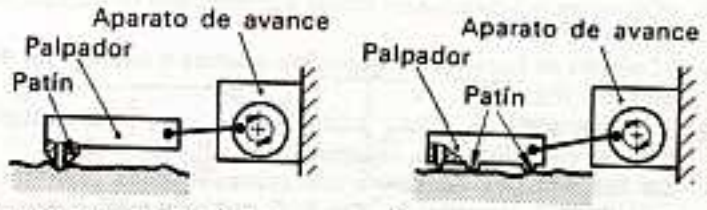
Los sistemas de superficies de referencia refieren el resultado de medición a una superficie patrón que materializa el perfil geométrico ideal. El ajuste del paralelismo entre la materialización de la superficie de referencia y la superficie de medición, suele requerir mucho tiempo, pero en cambio el resultado de la medición es muy expresivo.

Los sistemas de patín se apoyan sobre la superficie de medición en uno o dos patines. De este modo se mide el movimiento relativo de la punta del diamante respecto al patín. Para el resultado es importante en el sistema de patín único, el radio del patín utilizado (de 0,3 a 25 mm) y en el sistema de patín doble la distancia entre el palpador y los patines (de 0 a 3 mm).

Dirección de exploración y número de mediciones

Cuando se trata de superficies mecanizadas por arranque de viruta, la medición se realiza por lo general en dirección transversal a la de mecanizado. Cuando esto no esté suficientemente claro, por ejemplo en el caso de una superficie refrentada, se medirá en diferentes direcciones. Para mayor seguridad, es conveniente efectuar mediciones en tres lugares por lo menos.

Ha de tenerse en cuenta también que incluso en superficies bien mecanizadas el resultado de medición puede presentar fluctuaciones de hasta el 30%.



Sistema de patín único — Sistema de dos patines

Figura 5-35. Sistema de patines.



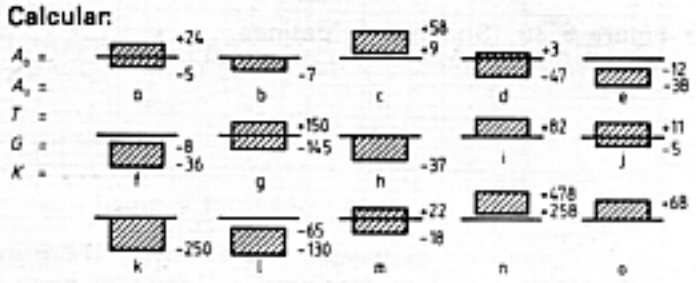
Figura 5-36. Confrontación de procedimientos de fabricación y valores de rugosidad.

Ejercicios

Tolerancias y ajustes

Tolerancias

1. ¿Por qué se ponen tolerancias a las piezas a mecanizar?
2. ¿De dónde viene el concepto «tolerancia»?
3. ¿Qué son las diferencias de medida?
4. Explicar los conceptos cota nominal, cota máxima, cota mínima.
5. ¿Por qué se emplea una línea cero cuando se determina una tolerancia?
6. ¿Qué es una diferencia superior y una diferencia inferior?
7. ¿Qué se entiende bajo el concepto «cota nominal»?
8. ¿Cómo se representa en forma simplificada un campo de tolerancia?
9. ¿Cuándo se habla de diferencias en más y cuándo de diferencias en menos?
10. ¿Cuáles son las cinco posiciones que puede adoptar un campo de tolerancia respecto a la línea cero?
11. De los campos de tolerancia representados (ejemplos a-o) calcular los valores A_o, A_u, T, G y K en mm.

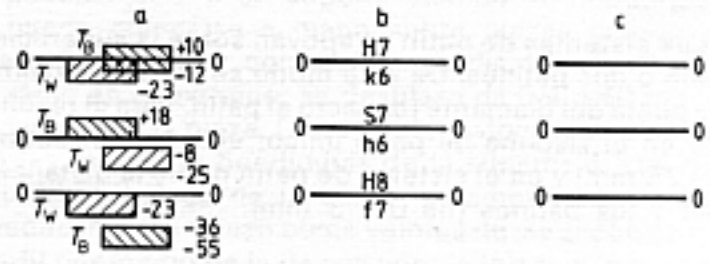


Cota nominal N = 60 mm.

12. ¿Cuáles son los campos de tolerancia que se designan mediante letras mayúsculas y cuáles mediante letras minúsculas?
13. ¿Qué letras del alfabeto se han suprimido en la desiganción de campo de tolerancia con el fin de evitar equivocaciones?
14. ¿Dónde se hallan los campos de tolerancia a hasta g, por encima o por debajo de la línea cero?
15. ¿Dónde se hallan los campos de tolerancia R, M y F?
16. ¿Sobre qué informa un número de calidad ISO?
17. ¿Por qué razón están divididas las medidas nominales en diferentes campos de medida nominal?
18. ¿De qué dos condiciones depende la magnitud de la tolerancia?
19. Explicar las siguientes designaciones: h6; R7; V8; d10; r6; K8; B11.
20. ¿Qué calidades (números de calidad) se emplean en la construcción de calibres?
21. ¿Cómo se encuentra el campo de tolerancia H respecto a la línea cero?
22. ¿Cómo se encuentra el campo de tolerancia h respecto a la línea cero?

Ajustes

23. ¿Qué es ajuste (definición)?
24. ¿Cuándo se habla de ajustes cilíndricos y de ajustes planos?
25. ¿Cuáles son los tres tipos de ajuste que pueden distinguirse?
26. ¿Cuándo se habla de ajuste móvil?
27. ¿Cuándo de ajuste indeterminado?
28. ¿Qué condiciones han de darse para que exista ajuste a presión?
29. Explicar mediante un croquis los conceptos »juego« y «apriete».
30. Determinar
    a) el tipo de ajuste y calcular juegos y apretes
    b) el tipo de ajuste
    c) comparar un ajuste móvil, uno indeterminado y otro a presión



31. ¿En qué cotas límite en eje y agujero resultan:
    a) Juego máximo de un ajuste móvil
    b) Apriete mínimo de un ajuste a presión
    c) Juego máximo de un ajuste indeterminado
    d) Apriete máximo de un ajuste a presión
    e) Juego mínimo de un ajuste móvil
    f) Apriete máximo de un ajuste indeterminado?
32. Formar en cada caso un ajuste móvil, indeterminado y a presión
    a) Croquizando los campos de tolerancia del eje y del agujero en su situación respecto a la línea cero
    b) Poniendo las letras y números de calidad en el croquis.
33. Establecer la diferencia entre los sistemas de ajuste «eje único» y «agujero único».
34. ¿Qué sentido y finalidad tienen los sistemas de ajuste?
35. ¿Bajo qué condiciones selecciona una empresa el sistema de ajuste «eje único» para su producción?
36. ¿Cuándo se decide una empresa por el sistema de ajuste «agujero único»?
37. Formar en cada caso un ajuste mediante indicación de las letras y números de calidad, por ejemplo H7/n6 (significando EB = agujero único, EW = eje único).
    a) Ajuste móvil según EB
    b) Ajuste a presión según EW
    c) Ajuste indeterminado según EB
    d) Ajuste indeterminado según EW
    e) Ajuste a presión según EB
    f) Ajuste móvil según EW.

    Emplear para ello la tabla de la página 000.
38. Establecer la diferencia entre uniones a presión mediante calado y uniones a presión mediante contracción o dilatación.
39. ¿En qué fenómeno físico se basa el proceso de encaje y el efecto de adherencia mediante contracción y dilatación?
40. ¿Qué es lo que ha de observarse durante la preparación de una unión a presión mediante calado?

Superficies técnicas

41. ¿Cómo se llaman las cuatro primeras clases de irregularidades de forma?
42. Citar las causas de las cuatro primeras clases de irregularidades de forma en las superficies mecanizadas de las piezas.
43. Croquizar la superposición de las irregularidades de forma.
44. ¿Qué finalidad tiene el filtrado cuando se realiza la verificación del perfil de la superficie?
45. ¿Cuáles son los dos tipos de filtrado mecánico que se emplean?
46. Establecer la diferencia entre los valores de rugosidad R_z y R_a.
47. Croquizar un símbolo superficial y asignarle un valor de rugosidad (por ejemplo 0,6).
48. Describir un perfilómetro.

49. Establecer la diferencia entre aumento vertical y aumento horizontal en los registros de los perfiles.
50. Establecer la diferencia entre sistema de superficie de referencia y sistema de patín en la exploración de la superficie.

5.3 Piezas de máquinas

5.3.1 Ejes, árboles, espigas

EJES Y ÁRBOLES

Los ejes y los árboles llevan piezas de máquinas (ruedas dentadas, ruedas motrices, poleas y otras), que giran, ejecutan movimientos alternativos o quedan fijas.

Fuerzas en los ejes y árboles

Los ejes y los árboles no se diferencian entre sí por las formas, sino únicamente por las fuerzas que soportan. Los ejes se solicitan **solamente a flexión** por las fuerzas que portan. Esto puede verse claramente en los ejes de ferrocarril y en los de los carros. Los árboles transmiten **siempre un momento de giro** y debido a ello se solicitan principalmente a **torsión**. No obstante, debido al peso de las ruedas dentadas, las poleas (F_1 y F_2) y el propio peso del árbol, surge también un **esfuerzo por flexión**. Los árboles siempre ejecutan movimiento giratorio.

Formas de los ejes

Los ejes montados horizontalmente se denominan ejes portantes, y los montados verticalmente, ejes de apoyo. Generalmente los ejes de sección circular giran; los de sección transversal cuadrada o rectangular y los acodados, no, y en ellos se alojan ruedan rotativas. Como material se emplean, dependiendo del esfuerzo que realicen, aceros de 500 a 600 N/mm² de resistencia, o aceros de cementación aleados en el caso de mayores esfuerzos.

Formas de los árboles

Los árboles son macizos o huecos y su superficie está torneada, estirada, rectificada o pulida.

Los **árboles de los mecanismos de accionamiento** tienen hasta 7 metros de longitud y transmiten momentos de giro a grandes distancias, por ejemplo, como árboles de traslación de grúas, o en las máquinas textiles. Los árboles montados verticalmente se denominan *á*rboles *p*rincipales.

Los **árboles de engranaje** tienen generalmente diámetros escalonados. Gracias a ellos pueden montarse fácilmente piezas de máquinas, tales como ruedas, arandelas, tuercas, medios de fijación, cojinetes y acoplamientos.

Los **cigüeñales** tienen uno o varios codos. Se mecanizan a partir de material macizo, se forjan o se funden con fundición gris. Con los cigüeñales se transforma un movimiento circular en rectilíneo, o viceversa.

Los **árboles huecos** tienen un bajo peso con una gran resistencia a la flexión, se emplean como husillos de trabajo en las máquinas herramienta, por ejemplo en tornos y fresadoras.

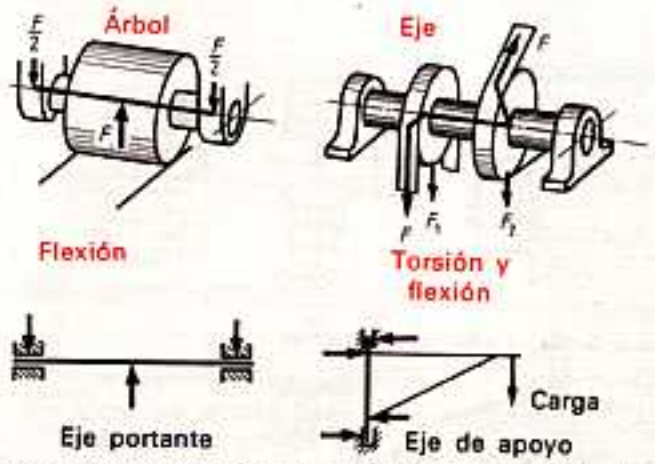


Figura 5-37. Fuerzas que actúan en ejes y árboles.

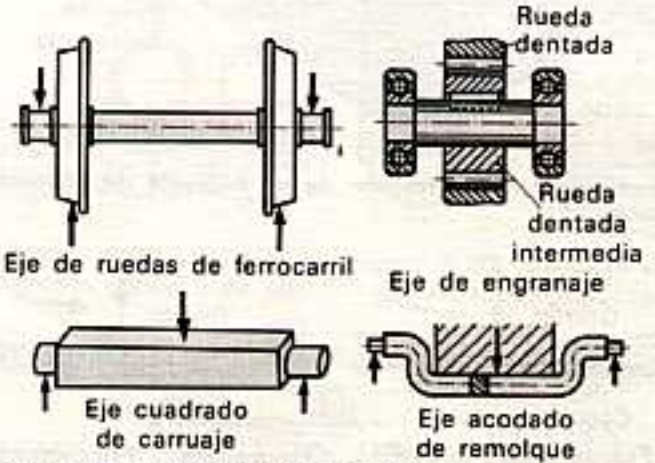


Figura 5-38. Formas de los ejes.

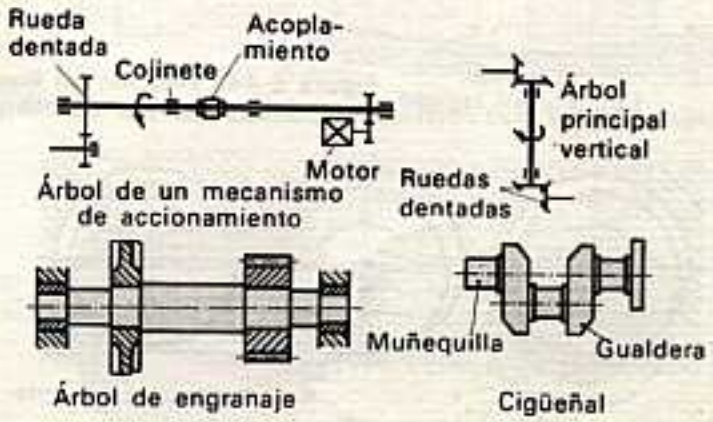


Figura 5-39. Formas de los árboles.

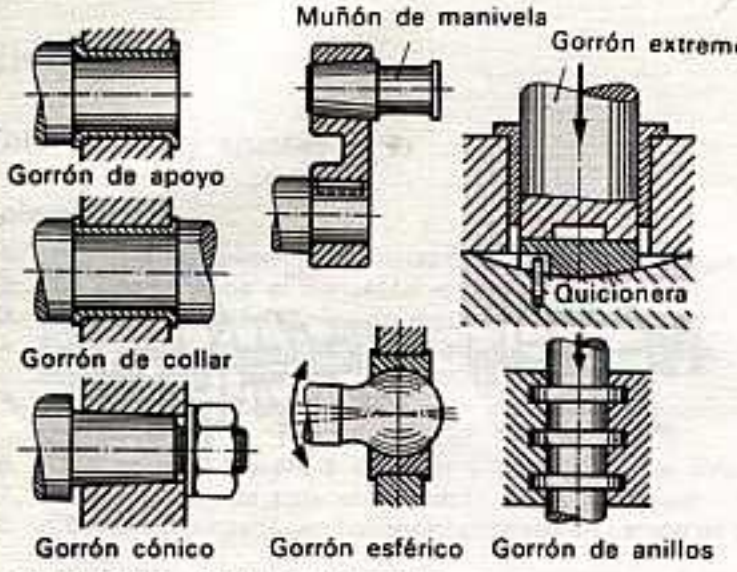


Figura 5-40. Tipos de gorrones.

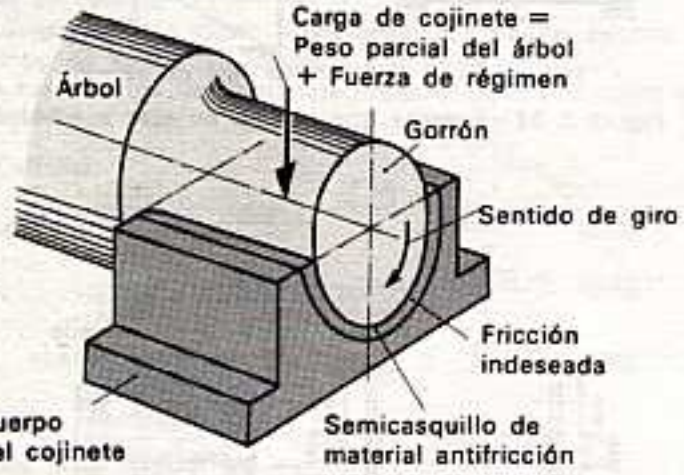


Figura 5-41. Constitución de un cojinete de fricción.

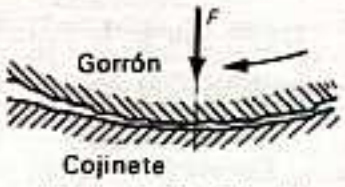


Figura 5-42. Fricción en seco.

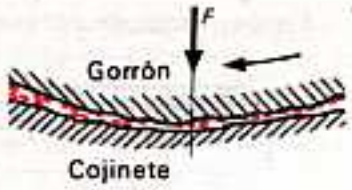


Figura 5-43. Fricción mixta.

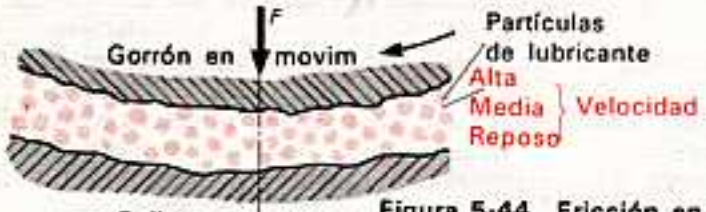


Figura 5-44. Fricción en líquido. Comportamiento del lubricante.

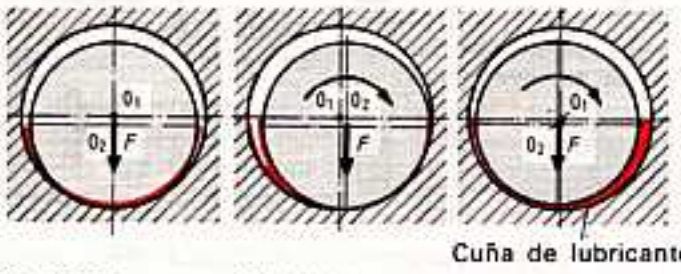


Figura 5-45. Posición de la espiga en el cojinete.

ESPIGAS (GORRONES, etc.)

Las espigas son los extremos o apoyos de fijación especialmente configurados en los ejes y árboles.

Las espigas se diferencian por su forma y uso. Las espigas rectas, de collar, cónicas, de manivela y esféricas, soportan fuerzas radiales; por el contrario las de apoyo y de anillos soportan fuerzas axiales. Las transiciones del diámetro de las espigas al diámetro exterior del árbol o eje están redondeadas (garganta) con el fin de evitar el efecto de entalladura bajo carga y con ellos la rotura por fatiga. Las espigas están generalmente rectificadas con el fin de reducir el rozamiento y están templadas superficialmente para que sean resistentes al desgaste.

5.3.2 Cojinetes de fricción

ROZAMIENTO Y ENGRASE

Los cojinetes tienen el cometido de guiar los árboles y ejes rotativos y soportar las fuerzas que actúan sobre ellos. Las superficies de la espiga y del cojinete se deslizan una sobre otra bajo el efecto de la fuerza que actúa sobre el mismo.

El rozamiento indeseado consiguiente ha de reducirse a un valor mínimo adoptando las medidas oportunas (lubricación).

Fricción seca (fricción de cuerpos sólidos). Si bien la superficie de deslizamiento de la espiga está rectificada y la del cojinete torneada fina, ambas presentan cierta rugosidad. Si estas superficies se deslizan la una sobre la otra sin lubricante, se produce una gran fricción y con ella un fuerte calentamiento y desgaste. Este caso de fricción en seco no debe tener lugar nunca en los cojinetes.

Fricción mixta. Las superficies de deslizamiento están humedecidas con un lubricante, de manera que en este caso sólo se tocan las elevaciones de las superficies; menor fricción y menor desgaste. Este estado no es tampoco admisible para funcionamiento permanente. La fricción mixta se produce principalmente al comenzar el movimiento de rotación de la espiga. Por lo tanto los cojinetes que frecuentemente están en reposo y se «arrancan» desde la parada, tienen mayor desgaste que los que están en funcionamiento permanente.

Fricción en líquido. Cuando entre las superficies de deslizamiento hay tanto lubricante que dichas superficies no se tocan, el proceso de fricción se efectúa en el lubricante mismo. La capa más baja de las partículas de lubricante se adhiere a la superficie del cojinete y no se mueve. La capa más alta se adhiere a la superficie de la espiga y se mueve con ella. Todas las capas situadas entre ellas se mueven con diferente rapidez.

Posición de la espiga en el cojinete

La película de lubricante en forma de cuña que se produce a alto número de revoluciones no debe romperse.

Fuerzas en el lubricante

Dado que las superficies de la espiga y del cojinete no se tocan, el lubricante tiene que transmitir la totalidad de la fuerza de apoyo de la

espiga al cojinete. El lubricante está bajo presión y tiene que ser lo bastante viscoso para no ser expulsado por los lados del cojinete. De esto resulta que la viscosidad del lubricante tiene que estar en correspondencia con la fuerza de apoyo, la velocidad periférica y la temperatura del cojinete. Como regla general puede decirse: lubricantes viscosos para fuerzas grandes, velocidades pequeñas y temperaturas altas. Lubricante muy fluido para fuerzas pequeñas, velocidades altas y temperaturas bajas.

La viscosidad es una medida para las fuerzas de cohesión reinantes entre las distintas moléculas del líquido.

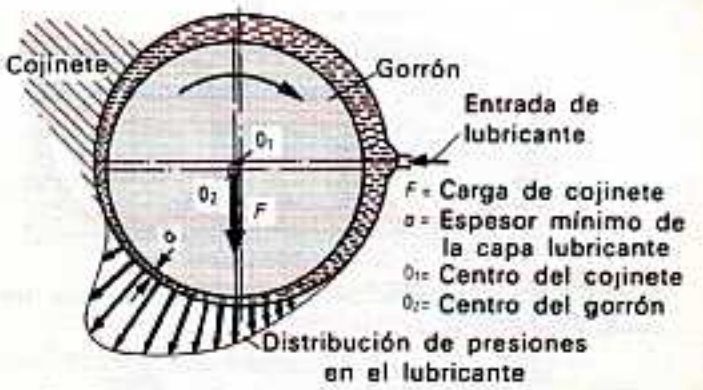


Figura 5-46. Fuerzas y presiones en el lubricante.

CLASES DE COJINETES

Según la dirección de la fuerza que ha se soportar el cojinete, éste puede ser radial o axial.

Los cojinetes radiales soportan árboles o ejes dispuestos horizontalmente, por sus extremos o en el centro. Los cojinetes axiales soportan árboles verticales y tienen casquillo de guía y quicionera. La quicionera soporta la fuerza axial y generalmente tiene su lado inferior abombado con el fin de que pueda adaptarse a la posición de la espiga.

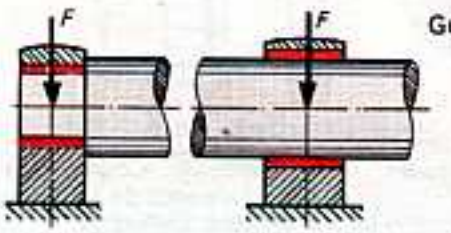


Figura 5-47. Cojinete radial o cojinete portante o cojinete transversal.

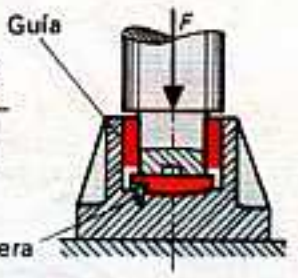


Figura 5-48. Cojinete axial o cojinete de apoyo o cojinete longitudinal.

Cojinetes de ojo

Constan de un ojo soldado o fundido (cuando se trata de carcasas de fundición) con casquillo insertado de material de cojinetes.

Soporte recto (cojinete de ojo)

El cuerpo es de fundición gris. El casquillo de material de cojinetes está introducido a presión. Estos cojinetes están recogidos en la norma DIN 504, en forma A con casquillo y en forma B sin casquillo.

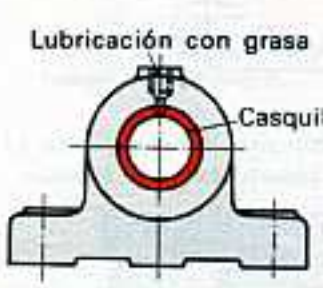


Figura 5-49. Soporte recto o cojinete de ojo.



Figura 5-50. Cojinete de ojo en una carcasa soldada.

Soporte recto partido con semicojinetes

El cojinete consta de parte inferior, tapa, dos semicojinetes de metal antifricción y dos tornillos de tapa. El escalón de centraje entre el cuerpo y la tapa se encarga de que ambas partes queden posicionadas con precisión entre sí. Estos cojinetes están recogidos en la norma DIN 505, con y sin casquillo. En el caso de los cojinetes de ojo, las espigas se insertan en el casquillo. El soporte de cojinete partido tiene la ventaja de que la espiga puede introducirse estando el cojinete abierto, y puede adaptarse mediante rasqueteado. Cuando hay que contar con una posición oblícua del árbol alojado, el cojinete va dotado de una pieza intermedia esférica, situada entre el cuerpo y el semicojinete.

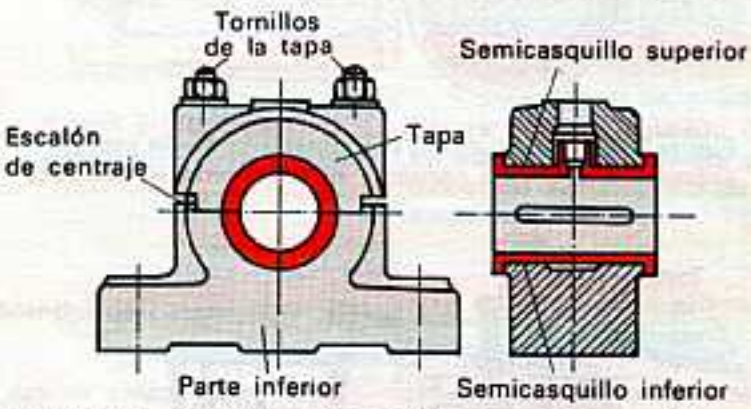


Figura 5-51. Soporte recto partido con semicasquillos.

Cojinetes de fricción reajustables

Los cojinetes para fines determinados, por ejemplo los cojinetes de husillo en tornos, han de tener un juego constante. Cuando después de un largo tiempo de funcionamiento el juego es excesivo debido al desgaste, ha de reajustarse el cojinete. Con ayuda de la tuerca izquierda se tira del casquillo ranurado hacia el taladro cónico. Debido a esto se reduce el diámetro del taladro del casquillo. Este reajuste debe realizarse con mucha precaución a fin de que el juego no se reduzca demasiado y se caliente el cojinete.

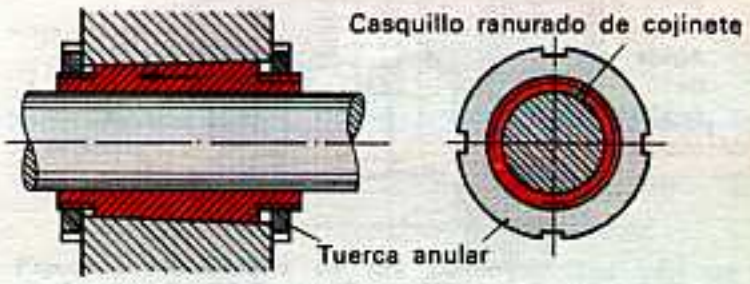


Figura 5-52. Cojinete de fricción reajustable.

Cojinete de cuñas múltiples

Mediante una adecuada disposición de las ranuras de engrase y una



Figura 5-53. Cojinete de cuñas múltiples que trabaja como cojinete de precisión.

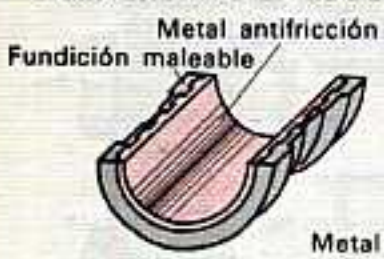


Figura 5-54. Casquillo de varias capas.

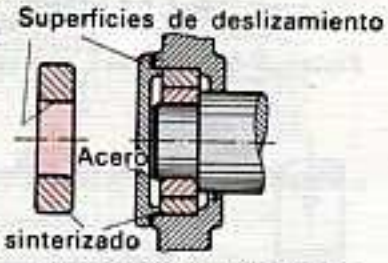


Figura 5-55. Cojinete de fricción corto de un anillo y de dos anillos.

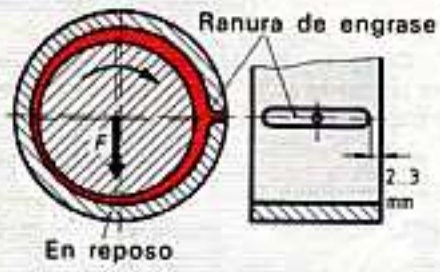


Figura 5-56. Conducción del lubricante por el cojinete. El árbol gira y está cargado; el cojinete está en reposo.

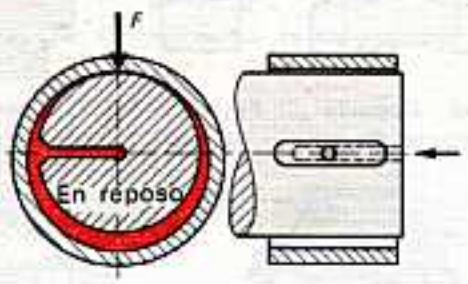


Figura 5-57. Conducción del lubricante por la espiga. El cojinete gira y está cargado, el árbol está en reposo.

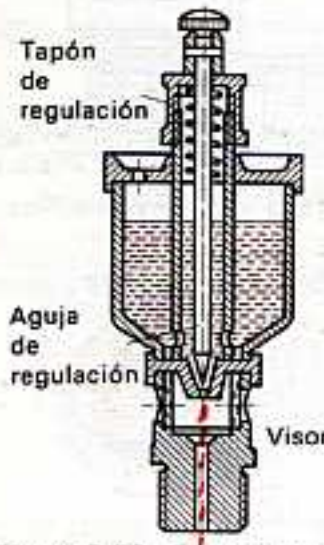


Figura 5-58. Engrasador de goteo.

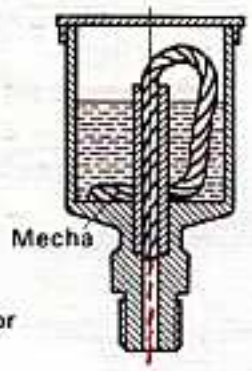


Figura 5-59. Engrasador de mecha.

especial configuración de las superficies de deslizamiento, la espiga se sujeta entre varias cuñas de lubricante. Con esto se garantiza un más exacto guiado del gorrón. Se emplea, por ejemplo, para alojar husillos de rectificar pesados. El montaje de estos cojinetes es muy difícil y requiere mucha experiencia.

MATERIALES DE LOS COJINETES

A pesar de una buena lubricación, en los cojinetes de fricción tiene lugar un breve contacto entre las superficies de la espiga y del cojinete. Con el fin de que el desgaste no sea excesivo y de que no se «gripen» las superficies del cojinete, se imponen determinadas exigencias a los materiales para casquillos y semicasquillos de cojinete. Las espigas son de acero y su superficie está frecuentemente templada. Los materiales de cojinetes deben ser resistentes al desgaste, a la corrosión y a la presión superficial, dilatarse poco al calentarse y conducir bien el calor. Además, deben adaptarse a la forma de la espiga durante el primer tiempo de marcha (capacidad de adaptación) y no deben griparse en el caso de que falle el engrase (capacidad de marcha de emergencia).

Fundición gris GG-20, GG-25
Metal antifricción (metal blanco) LgPb, LgPbSb 13, LgPbSn 5, LgPbSn 10, LgSn 80, LgSn 80 F, LgPbSn 6 Cd
Aleación de fundición de cobre y estaño G-CuSn12 Pb como fundición en arena, fundición centrifugada o fundición en colada continua
Aleación de fundición de cobre, estaño y cinc G-CuSn 10 Zn, G-CuSn 7 ZnPb
Aleación de fundición de cobre y cinc G-CuZn 25 A 15
Aleación de fundición de cobre y aluminio G-CuAl 11 Ni
Metales sinterizados, hierro sinterizado y metales no férreos sinterizados
Materiales sintéticos, plásticos moldeados, plásticos fenólicos

Cojinetes de varias capas. Los casquillos de los cojinetes para grandes esfuerzos constan de un fuerte casquillo portante y de apoyo de fundición gris, fundición maleable o acero, con una capa de metal antifricción. El casquillo portante absorbe las fuerzas, la capa de metal se encarga de proporcionar buenas propiedades de deslizamiento.

Los **cojinetes de material sinterizado** se fabrican como cojinetes de un anillo o de dos. Sus dimensiones corresponden a las de los cojinetes de rodamiento, de manera que pueden montarse en carcasas para estos últimos. Los cojinetes de un anillo son totalmente de metal sinterizado. El anillo interior del cojinete de dos anillos es de metal sinterizado y el exterior de acero. Los cojinetes sinterizados se impregnan de aceite antes del montaje (en un 25% de su volumen), que ceden para el engrase durante la marcha y sobre todo cuando se calientan.

CONDUCCIÓN DEL LUBRICANTE

Además de los dispositivos de engrase usuales, tales como los racores de engrase, los tapones de engrase, los engrasadores Stauffer, con los que puede aportarse lubricante de vez en cuando, para la aportación constante se emplean engrasadores de mecha, engrasa-

dores de goteo, lubricación automática por anillo y lubricación central.

En los **engrasadores de mecha** el aceite asciende por capilaridad por la mecha y desciende luego por la misma hasta que cae en forma de gota en el lugar de engrase. Obsérvese que el extremo de la mecha se halla más bajo que el fondo del recipiente de aceite (efecto sifón).

Con los **engrasadores de goteo** la cantidad de aceite que gotea puede regularse levantando o bajando la aguja.

En la lubricación automática por **anillo engrasador** el anillo rotativo transporta a la espiga el aceite adherido a él y lo entrega por contacto en pequeñas cantidades.

La **lubricación central** es para cojinetes muy solicitados. Una bomba de engranajes impulsa el lubricante hasta el cojinete. No son admisibles los circuitos de tuberías. Se ha de disponer una tubería para cada cojinete.

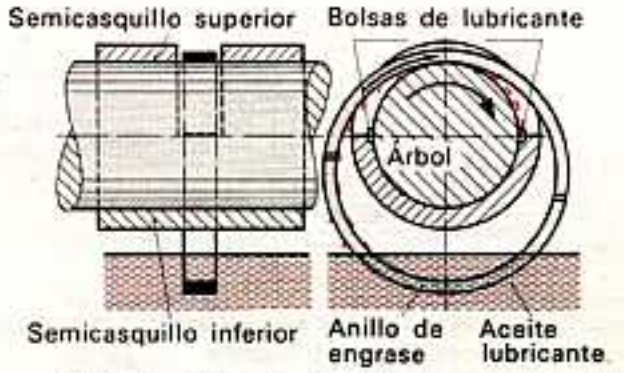


Figura 5-60. Funcionamiento del engrase por anillo.

MONTAJE Y MANTENIMIENTO

Antes de montar un cojinete se ha de verificar el ajuste de la espiga y del orificio del cojinete.

Se prevén diferentes ajustes móviles dependiendo de la precisión de marcha deseada. La anchura del cojinete es importante, pues en los cojinetes demasiado anchos incluso pequeñas dislocaciones del árbol dan lugar a una presión muy perjudicial en los bordes.



Figura 5-61. Ajuste y juego del cojinete.

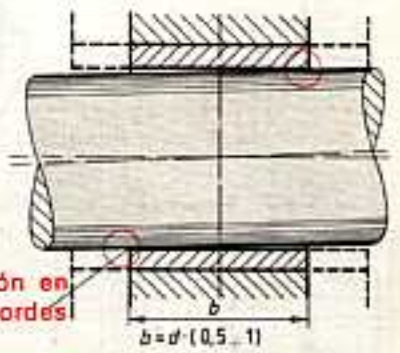


Figura 5-62. Anchura del cojinete y presión en los bordes.

Inserción de los casquillos de cojinete

Los casquillos se montan con ajustes a presión con pequeño apriete o ajustes indeterminados con apriete grande cuando el montaje es difícil. El casquillo ha de colocarse exactamente en ángulo recto al insertarse. Una vez insertado el casquillo se ha de controlar la medida del orificio, ya que cuando el ajuste es muy estrecho puede contraerse el casquillo. En caso necesario ha de escariarse el agujero. Los casquillos con ajuste indeterminado se aseguran contra aflojamiento y giro por medio de un prisionero de espiga.

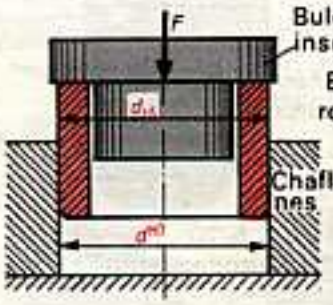


Figura 5-63. Inserción del casquillo de cojinete.

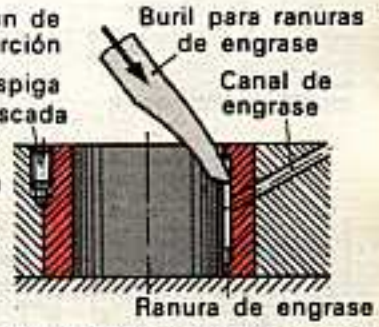


Figura 5-64. Asegurado de un casquillo de cojinete y cincelado de la ranura de engrase.

Guarnecido de los cojinetes con metal antifricción

Recubrir bien las envueltas portantes por sus lados interiores con estaño de soldadura (estañar), con el fin de que se fije el metal antifricción. Se han de ahumar (con el soplete para soldar y con exceso de gas) todas las superficies del útil a las que no deba fijarse el metal antifricción. Al sujetar las envueltas, se han de insertar chapas intermedias delgadas. Calentar el molde acabado con el soplete de soldar o en el horno de recocer, a aproximadamente 420 a 450 K, ya que si no se hace así el material vertido se «apelotona» debido al enfriamiento súbito.

En el procedimiento de **fundición centrifugada** se cuela bronce. También en este caso se han de estañar y precalentar las envueltas de cojinete. El espesor de la capa de metal depende del avance uniforme del canal de colada. Para pequeños números de piezas puede emplearse un torno.

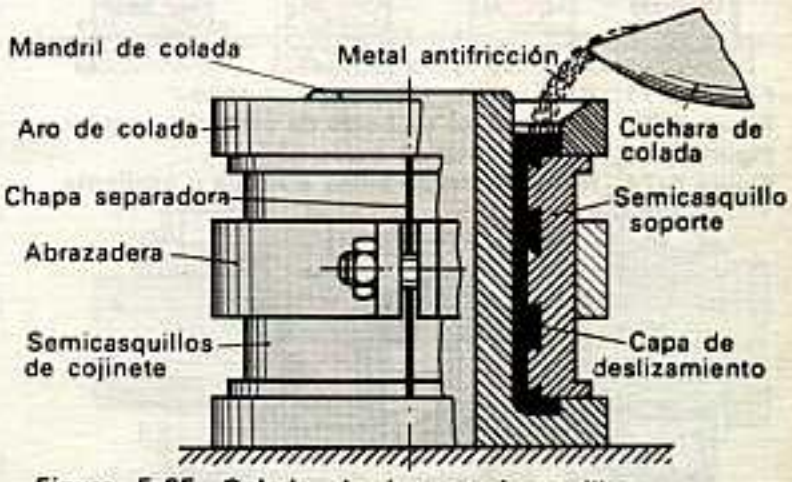


Figura 5-65. Colada de los semicasquillos con un dispositivo de colada.

Montaje de los semicojinetes

Los cojinetes para altas exigencias se rasquetean. El cojinete se cierra alrededor de la espiga previamente entintada y se aprieta firme-

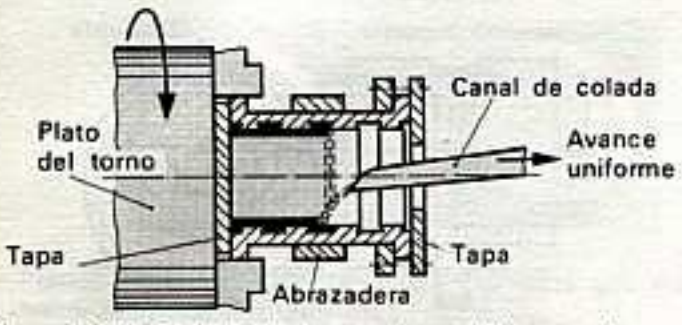


Figura 5-66. Colada de los semicasquillos por el procedimiento de fundición centrifugada.

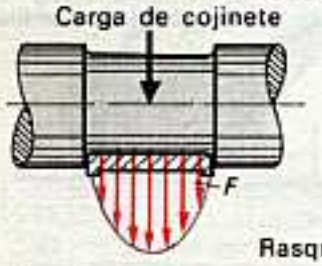


Figura 5-67. Fuerzas portantes en el cojinete.

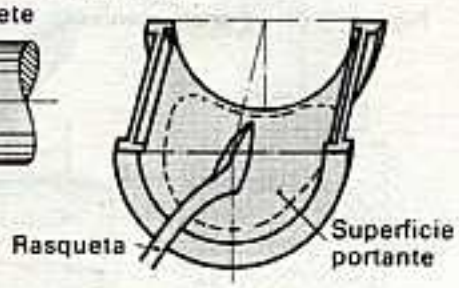
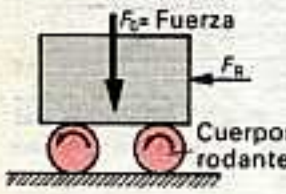


Figura 5-68. Rasqueteado de un semicasquillo.



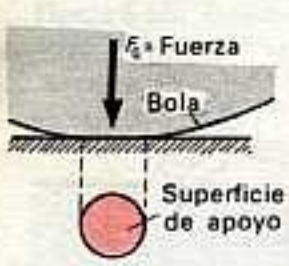


Figura 5-69. Aplanamiento.

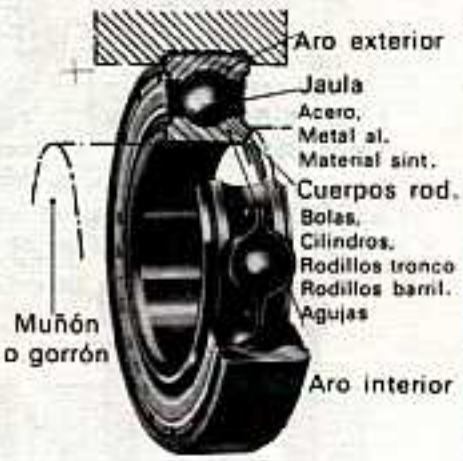


Figura 5-70. Constitución de un rodamiento.

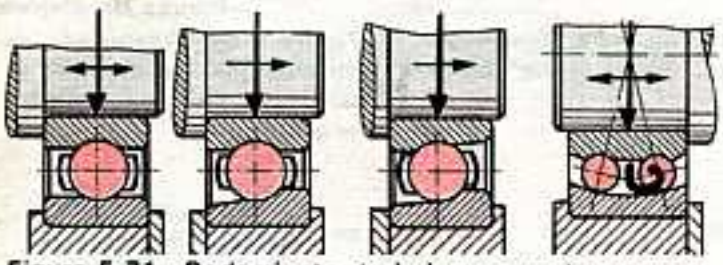


Figura 5-71. Rodamiento de bolas ranurado.
Figura 5-72. Rodamiento de bolas de contacto angular
Figura 5-73. Rodamiento de bolas oblícuo.
Figura 5-74. Rodamiento de bolas a rótula u oscilante

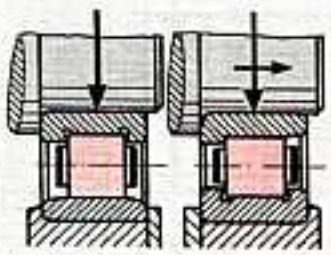


Figura 5-75. Rodamiento de rodillos cilíndricos.
Bordes interiores Bordes exteriores

mente con los tornillos. Una vez que la espiga ha dado algunas vueltas, si es posible bajo carga, se abre el cojinete. Se han de rasquetear los puntos de sustentación de tal manera que el cojinete sustente solamente en la parte central, o sea quede libre en los bordes, pues la carga del cojinete es máxima en el centro y va descendiendo hacia los bordes.

Mantenimiento de los cojinetes de fricción

Las causas del calentamiento excesivo de los cojinetes de fricción pueden ser:

Lubricante incorrecto, interrupción de la llegada de lubricante, comba del árbol y debido a ello presión en los bordes, desalineación, juego demasiado pequeño (en el caso de casquillos montados a presión o de cojinetes reajustables), material antifricción incorrecto, carga excesiva. El cojinete se calienta demasiado y el juego se va reduciendo, hasta que el árbol se gripa agarrotándose en el cojinete.

5.3.3 Rodamientos

FUNDAMENTOS

Resistencia a la rodadura

Si entre un cuerpo a mover y la superficie de rodadura se ponen cuerpos rodantes, la fricción será muy pequeña y con ello la fuerza F_R necesaria para superar dicha fricción. En teoría, el cuerpo rodante en forma de bola toca la superficie de rodadura sólo puntualmente. En la realidad los cuerpos rodantes se aplanan e impresionan en la superficie de rodadura debido a la fuerza que actúa sobre ellos, de manera que se produce un contacto superficial. Este contacto superficial aumenta la fricción.

Constitución de los rodamientos

Los rodamientos, con una excepción (los de agujas sin aro interior), constan de aro exterior, aro interior, cuerpos rodantes y jaula. El aro exterior es la parte a unir con la carcasa del cojinete y al mismo tiempo la pista de rodadura exterior para los cuerpos rodantes. El aro interior va unido a la espiga y constituye la pista de rodadura interior. Los cuerpos rodantes tienen forma de esfera, cilindro, barril o tronco de cono y se mantienen distanciados mediante la jaula. Los aros exteriores y los interiores, así como los cuerpos rodantes, son de acero al cromo mejorado.

Ventajas: Poco calentamiento. No precisan tiempo de adaptación. Pequeño aumento del juego después de largo tiempo de marcha. Bajas exigencias a la lubricación y poco mantenimiento. La normalización internacional posibilita la intercambiabilidad de las piezas.

Inconvenientes: Sensibles a percusiones y choques, tolerancias pequeñas para la carcasa y las espigas, y por lo tanto mayores costes de fabricación.

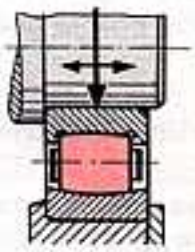


Figura 5-76. Rodamiento de barriletes.

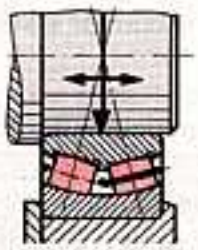


Figura 5-77. Rodamiento de rodillos a rótula u oscilante.

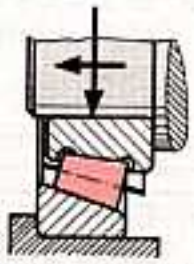


Figura 5-78. Rodamiento de rodillos cónicos.

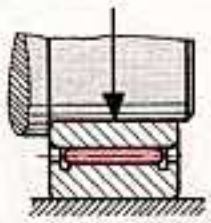


Figura 5-79. Rodamiento de agujas.

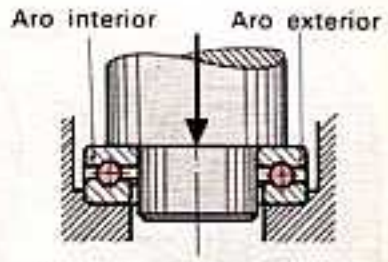


Figura 5-80. Rodamiento de bolas axial ranurado.

Clases de rodamientos

La elección de los rodamientos se rige sobre todo por la magnitud y la dirección de las fuerzas a soportar. Muchos rodamientos transmiten al mismo tiempo fuerzas radiales y axiales. Los rodamientos de bolas a rótula, los rodamientos de barriletes y los rodillos a rótula, permiten la dislocación de los ejes. Los rodamientos de rodillos cilíndricos sólo pueden absorber pequeñas fuerzas axiales (fuerzas a tope) con los bordes que hacen contacto en el aro interior y el aro exterior. Los rodamientos de agujas ocupan poco espacio. Si se quita el aro interior y se hace que las agujas rueden sobre espigas templadas, el espacio que necesitan no es mayor que el de un cojinete de fricción. Los rodamientos de rodillos cónicos tienen un efecto autocentrante. Los de contacto angular, los de rodillos cilíndricos, los de agujas y los de rodillos cónicos, pueden desmontarse, es decir que pueden montarse por separado el aro exterior y el aro interior.

Disposición de los cojinetes

En los lugares donde los árboles se dilaten por calentamiento o se desplace la carcasa en dirección axial, sólo debe ponerse un «cojinete fijo». El segundo cojinete, o en el caso de alojamiento múltiple todos los demás cojinetes, tienen que ser «cojinetes sueltos» y poder admitir el movimiento axial. En el caso de los rodamientos de rodillos cilíndricos con aro sin bordes, o el de los rodamientos de agujas, los desplazamientos axiales se compensan en los propios rodamientos.

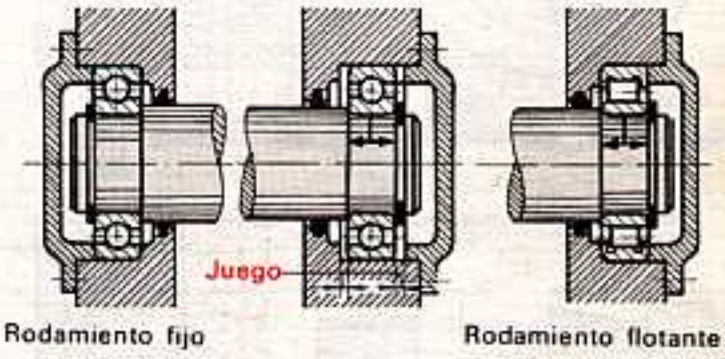


Figura 5-81. Disposición de los rodamientos.

FIJACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

En muchos casos el aro interior del rodamiento tiene que estar sujeto adicionalmente al árbol, a fin de que puedan absorberse con seguridad las fuerzas axiales. Generalmente se fija con anillos de seguridad. Cuando tienen que absorberse fuerzas axiales mayores, la fijación se realiza por medio de una tapa atornillada al extremo del árbol, mediante tuerca anular y chapa de seguridad, contratuerca o por medio de un casquillo distanciador a otra parte de la máquina.

Cuando el aro interior tiene un taladro cónico (conicidad 1:12) la fijación se efectúa por medio de manguitos de sujeción o de extracción. Los manguitos de sujeción se introducen en el cojinete tirando de ellos con la tuerca anular. Los de extracción se aprietan y aflojan de nuevo con la tuerca anular.

Ajustes de los rodamientos

Los tipos de ajuste que se han de seleccionar en la carcasa y en el árbol para la fijación de un cojinete, dependen esencialmente de cuatro casos de carga distintos.

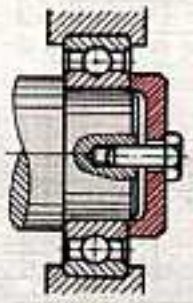


Figura 5-82. Tapa.

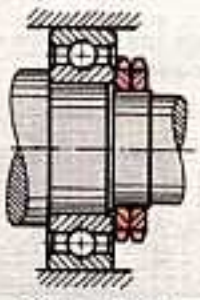


Figura 5-83. Tuercas para eje.

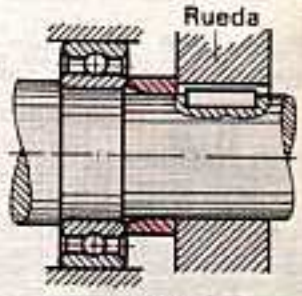


Figura 5-84. Casquillo distanciador.

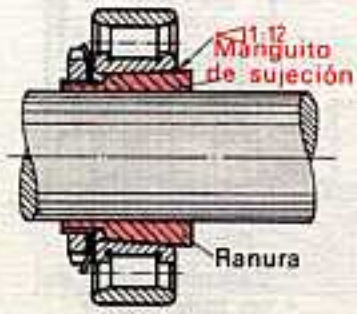
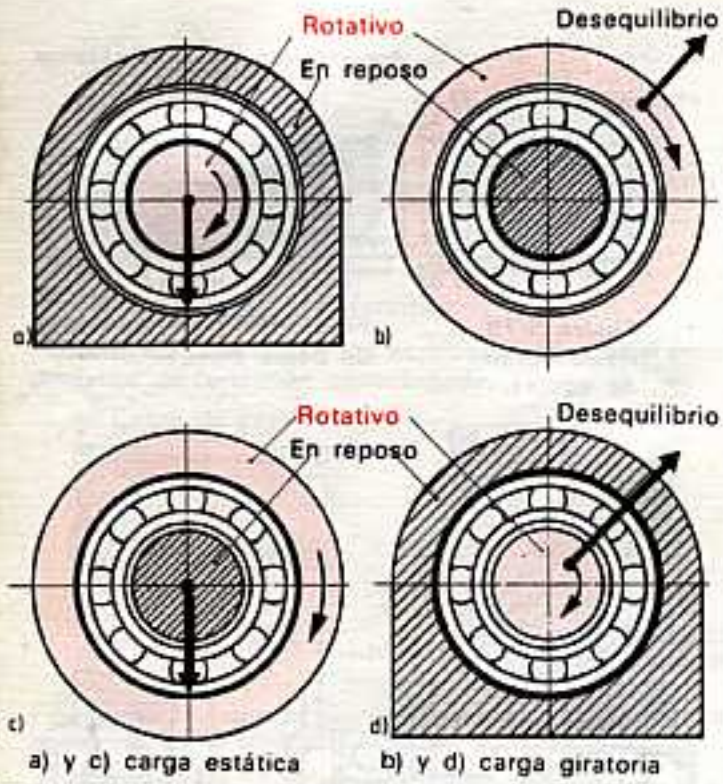


Figura 5-85. Manguito de sujeción.



Figura 5-86. Manguito de extracción.



a) y c) carga estática — b) y d) carga giratoria

Figura 5-87. Cuatro casos de carga diferentes.

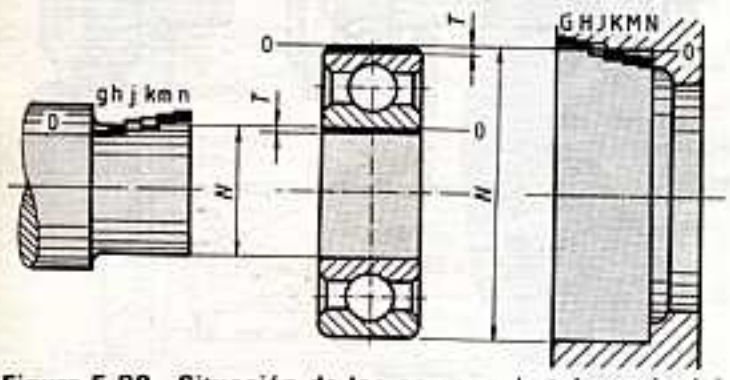
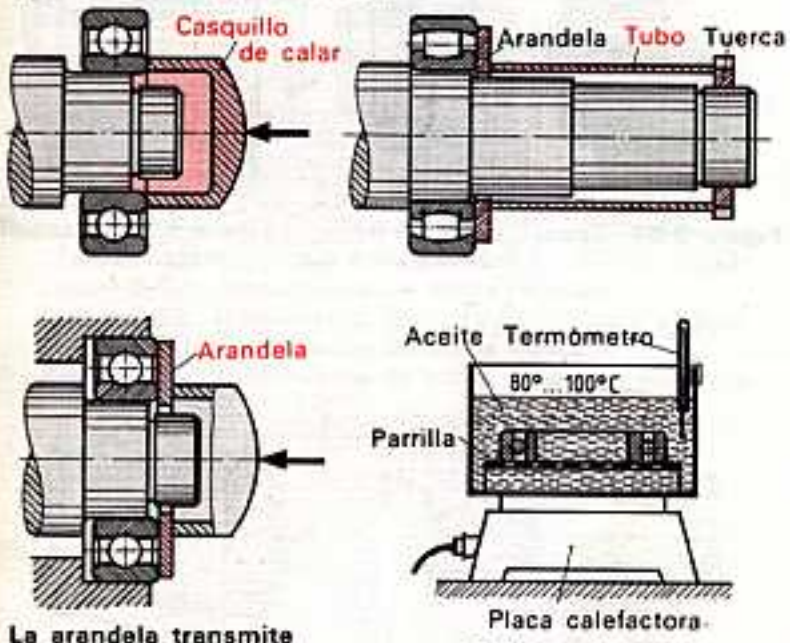


Figura 5-88. Situación de los campos de tolerancia del eje, el cojinete y la carcasa.



La arandela transmite la fuerza al aro exterior y al aro interior

Calentamiento de un rodamiento

Figura 5-89. Montaje de los rodamientos.

a) El árbol y el aro interior giran. El árbol está cargado estáticamente. El aro exterior está en reposo con la carcasa.

El aro interior con el árbol tendrá un ajuste fijo; para el aro exterior con la carcasa es admisible un ajuste flojo (fácil montaje).

b) El aro interior y el árbol están en reposo. El aro exterior y la carcasa giran con desequilibrio.

También en este caso es necesario en el interior un ajuste fijo. En el exterior puede preverse un ajuste flojo.

c) El árbol está cargado y en reposo, el aro exterior gira.

Con el fin de que el aro exterior no se mueva en la carcasa, se hará un ajuste fijo. El aro interior y el árbol tendrán un ajuste flojo.

d) El aro exterior descansa; el árbol con el aro interior giran con desequilibrio.

Tampoco en este caso debe moverse el aro exterior y tendrá por tanto un ajuste fijo. El aro interior puede tener un ajuste flojo.

Todos los rodamientos tienen una tolerancia en menos en el diámetro exterior y en el diámetro del orificio. Para obtener un ajuste fijo o flojo con el árbol o con la carcasa, se han de prever para ejes y agujeros los campos de tolerancia que van desde g hasta n, y desde G hasta N, respectivamente. Los campos de tolerancia en ejes g y h producen un ajuste flojo y los campos j, k, m y n producen un ajuste fijo. En las carcasas se obtiene, con los campos G, H y J, un ajuste flojo y con K, M y N un ajuste fijo. Para los ejes entran en consideración las calidades 5 a 7, y para los agujeros 6 a 8. En la gran mayoría de los casos se elige un ajuste fijo para el aro interior con el eje y un ajuste flojo para el aro exterior con la carcasa.

MONTAJE Y DESMONTAJE DE LOS RODAMIENTOS

Montaje de los rodamientos

Los rodamientos se han de conservar en el envase original. Al montarlos es necesaria la máxima limpieza. Al calar un rodamiento se ha de cuidar, sobre todo, que la fuerza de encaje no se transmita nunca del aro exterior al interior a través de los cuerpos rodantes, o viceversa, ya que sería inevitable el deterioro de los cuerpos rodantes y de las pistas de rodadura. Para calar los rodamientos en los árboles se utiliza un casquillo de montaje que sólo debe tocar el aro interior. Cuando, por ir montado el rodamiento a gran distancia del extremo del árbol, se utilice un tubo y una rosca existente en el árbol, el tubo tendrá que estar refrentado en sus dos extremos.

En el caso de ajustes fijos el rodamiento se calienta en un baño de aceite o sobre una placa calefactora (dándole la vuelta constantemente) hasta un máximo de 373 K (100°C). Temperaturas más altas darían lugar a una modificación de la textura del material de las piezas del rodamiento bonificadas. Cuando el calado se realiza con manguitos de sujeción o sobre asientos cónicos, ha de controlarse constantemente el juego de rodamiento, porque el aro interior se dilata y debido a ello se reduce dicho juego. Cuando se trate de rodamientos no desmontables, puede verificarse el juego con un calibre de espesores (galga). En el caso de rodamientos desmontables se mide la dilatación del aro interior con un micrómetro. Fórmula empí-

rica: desplazamiento axial respecto a reducción del juego del rodamiento 15:1, es decir con 1 mm de desplazamiento el juego se reduce 1/15 mm ≈ 0,06 mm.

Desmontaje de los rodamientos

También en el desmontaje se ha de cuidar que la fuerza ejercida no se transmita a través de los cuerpos rodantes. Es favorable el empleo de extractores. La extracción de aros interiores grandes y ajustados fijos puede facilitarse si se cubren con trapos impregnados de aceite caliente, o si se calienta el aro con un chorro de vapor. No calentar con lamparilla ni con soplete de soldar.

Montaje y desmontaje con aceite a presión

Mediante pequeñas prensas de aceite manuales o inyectores de aceite (en el caso de rodamientos pequeños) se introduce aceite a presión en el intersticio de ajuste entre el aro de rodamiento y el árbol. La película de aceite producida de este modo reduce el rozamiento de adherencia, y el anillo puede calarse o extraerse con relativa facilidad.

Engrase y mantenimeinto

Emplear sólo aceites y grasas prescritas por los fabricantes de los rodamientos. Los aceites y grasas tienen que estar exentos de ácidos, ser resistentes al envejecimiento y extraordinariamente puros, y no deben resinificarse. La elección de los aceites y grasas se hará según los tamaños, número de revoluciones, carga, temperatura de funcionamiento y hermeticidad del rodamiento. Como regla para la cantidad a aplicar puede servir: Llenar de grasa hasta la mitad los espacios huecos del rodamiento. Nivel de aceite hasta la mitad de la altura del cuerpo rodante inferior.

5.3.4 Juntas de piezas de máquina redondas

Los árboles, ejes y husillos atraviesan frecuentemente las paredes de las carcasas de las máquinas, los engranajes, cojinetes y válvulas. Con el fin de que no penetre suciedad y polvo en estos lugares y de que no puedan salirse de las carcasas las sustancias gaseosas o líquidas, se han de prever juntas. Han de estanqueizarse asimismo los émbolos en los cilindros, para impedir que las sustancias gaseosas o líquidas pasen de una cámara del cilindro a la otra.

Los árboles, ejes y husillos giran. Los émbolos ejecutan un movimiento rectilíneo. Las juntas tienen que estar hechas de manera que no perjudiquen el movimiento de rotación ni el rectilíneo y, no obstante, hermeticen las cámaras una respecto a otra.

Juntas dinámicas

Con las **empaquetaduras** se hermetizan principalmente husillos y vástagos de émbolo de marcha lenta. Encajando a presión el prensaestopas (casquillo de presión), la junta se adapta al husillo o al vástago del émbolo. La empaquetadura es de materiales fibrosos, de fibras metálicas, de metales blandos conformados o una masa suelta

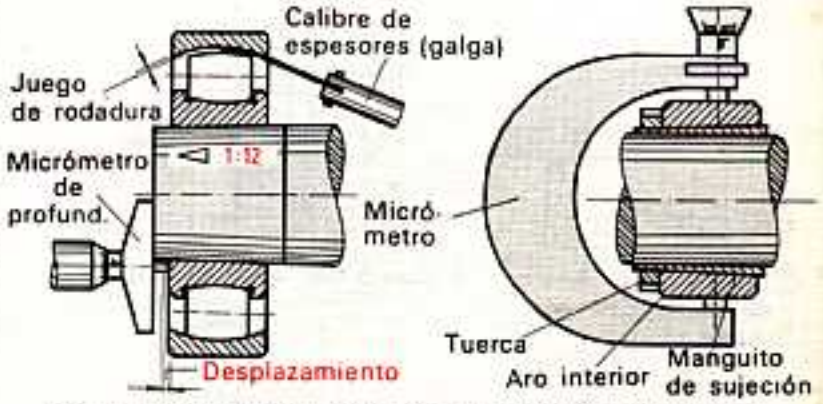


Figura 5-90. Verificación del juego radial cuando se calan en asientos cónicos.

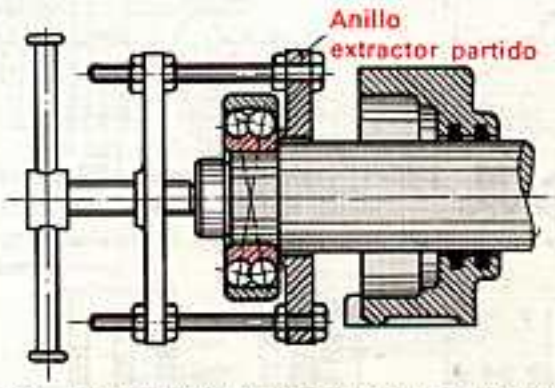


Figura 5-91. Desmontaje de un rodamiento mediante el dispositivo extractor.

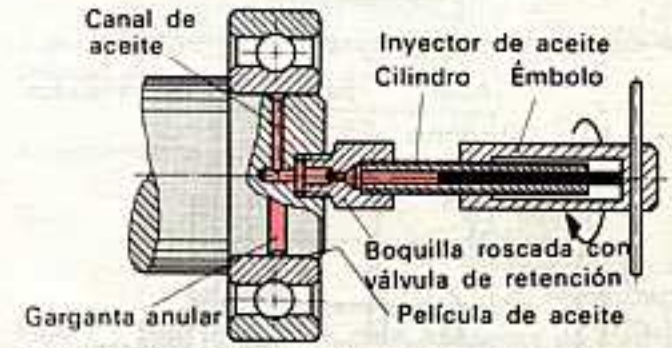


Figura 5-92. Montaje o desmontaje con aceite a presión.

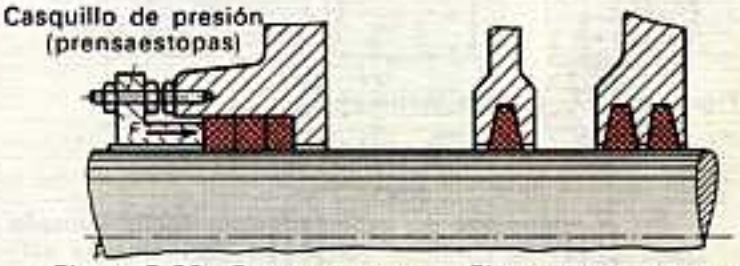


Figura 5-93. Empaquetadura con prensaestopas.

Figura 5-94. Anillos de fieltro.

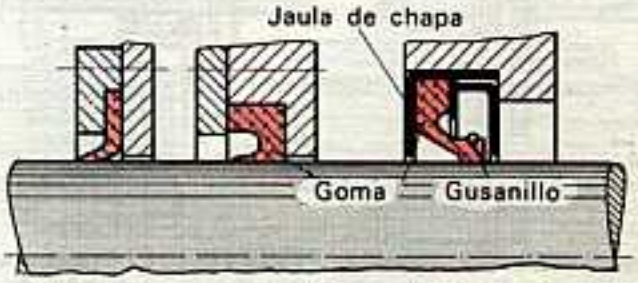


Figura 5-95. Retenes.

Figura 5-96. Retén radial para árboles.

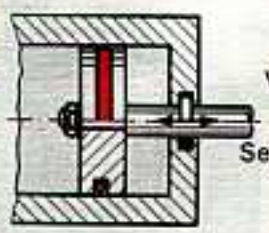


Figura 5-97. Anillo de sección circular. Junta tórica.



Figura 5-98. Aros de émbolo.

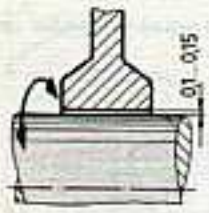


Figura 5-99. Juntas de intersticio.

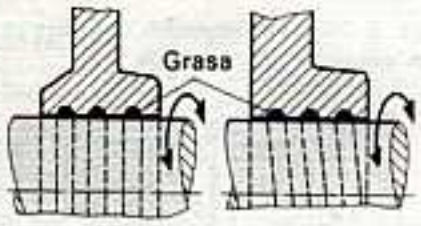
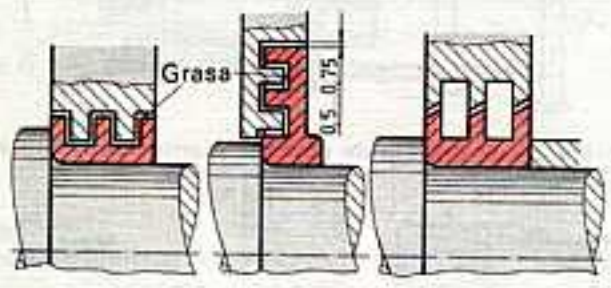


Figura 5-100. Estrías de retención.



axial radial para áboles desalineados

Figura 5-101. Laberintos.

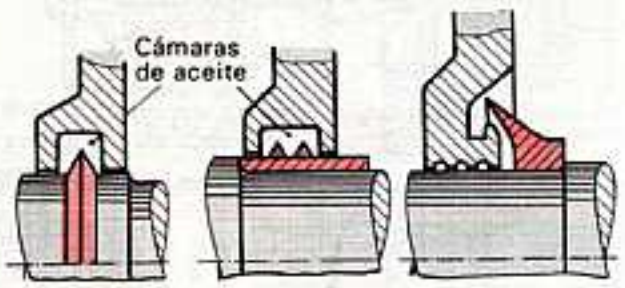


Figura 5-102. Anillos dispersores.

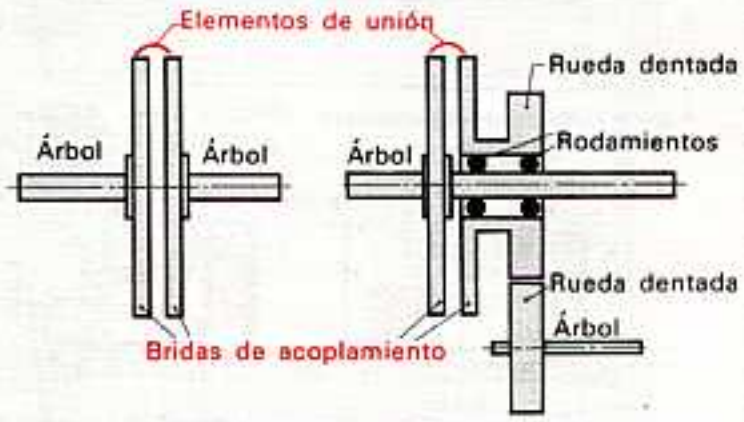


Figura 5-103. Transmisión del momento de giro de árbol a árbol.

Figura 5-104. Transmisión del momento de giro de árbol a rueda dentada.

amorfa (estopada). Si aparecen fugas tiene que reapretarse el prensaestopas.

Con los **anillos de fieltro** se hermetizan las cámaras de aceite de los rodamientos. La fabricación es sencilla y barata. Las formas y tamaños de las ranuras están recogidas en la norma DIN 5419. Los **retenes** de goma o de cuero hermetizan sobre todo piezas móviles longitudinalmente. Existen anillos de retén radial para ejes en muchas ejecuciones diferentes. Se utilizan frecuentemente como componentes acabados para hermetizar las carcasas de los rodamientos. En el montaje se ha de cuidar que los anillos no queden alabeados.

Los **anillos de sección circular** o **juntas tóricas** se emplean en émbolos y en vástagos de émbolo a pequeñas presiones de servicio. No deben quedar retorcidos al montarlos.

Los aros de pistón o segmentos de hierro fundido o metal pesado no férreo, hermetizan bien los pistones aun con grandes presiones. Tienen buenas propiedades de deslizamiento. Si se utilizan varios aros de pistón, tienen que disponerse desplazadas las juntas de los distintos aros.

Obturaciones

Las **juntas de intersticio** impiden en cierta medida la penetración de polvo y suciedad mediante la formación de remolinos en el intersticio de la junta (de 0,1 a 0,15 mm). Esta junta no es suficiente contra la salida de líquidos y gases.

Las **estrías de retención** (por lo menos tres) se llenan de grasa en el montaje. En el caso de árboles que giran a gran velocidad se forman en las estrías remolinos que producen un buen efecto obturador. Las estrías de retención helicoidales se han de disponer de manera que la grasa de la junta se mueva hacia la carcasa.

Los **laberintos** con relleno de grasa obturan muy bien contra la penetración de polvo y la salida de aceite. Anchura del intersticio 0,5 a 0,75 mm.

Los **laberintos axiales** se emplean en los cojinetes partidos y los **laberintos radiales** en los cojinetes no divididos.

Los **anillos dispersores de engrase** dispersan en su contorno (con la máxima velocidad periférica) el aceite que se traslada sobre el árbol. El aceite retorna a la carcasa por un taladro que hay en la parte inferior de la cámara de aceite.

5.3.5 Acoplamientos

FUNDAMENTOS

Los acoplamientos constan fundamentalmente de dos mitades, generalmente discos, y de piezas que realizan la unión entre ambas. Esta unión puede efectuarse por arrastre de forma mediante bulones, garras, resortes, dentados y otros, o por arrastre de fuerza mediante superficies de fricción con una fuerza perpendicular (normal) a ellas.

Funcionamiento de los acoplamientos

Los acoplamientos deben transmitir momentos de giro bajo condiciones determinadas, por ejemplo con marcha exenta de sacudidas, entre árboles, o de un árbol a una rueda dentada, polea o rueda volante. Un momento de giro es el producto de la fuerza por la lon-

gitud de palanca. En el caso de los acoplamientos la longitud de palanca *l* del momento de giro es la distancia que hay desde el centro del árbol hasta los elementos de unión. Longitud de palanca = radio. La fuerza *F* del momento de giro actúa como fuerza tangencial en los elementos de unión, como esfuerzo de cizallamiento en los bulones, como fuerza de apriete en las garras o como fuerza de fricción en las superficies de fricción de los acoplamientos. Si los elementos de unión pueden transmitir una gran fuerza tangencial *F*, puede elegirse pequeño el radio (longitud de palanca *l*) y con ello el tamaño del acoplamiento. Pero si tiene que permanecer pequeña la fuerza tangencial *F* porque el momento de giro se transmite por ejemplo por fricción, el radio de acción (longitud de palanca *l*) tendrá que hacerse correspondientemente grande. Por lo general los acoplamientos de construcción sencilla y robusta tienen pequeño diámetro.

Formas de unión entre las mitades de acoplamiento

El funcionamiento del acoplamiento depende únicamente de la forma de unión entre las mitades de acoplamiento. Las mitades de acoplamiento pueden unirse firme y rígidamente con tornillos. Si las dos mitades de acoplamiento llevan garras que engranan entre sí, la unión es verdaderamente por arrastre de forma pero no rígida. La unión elástica se realiza mediante elementos de unión de goma, de plástico, alambres o cintas de acero de resortes. En el caso en que deba soltarse o establecerse la unión durante la marcha, se prevé una unión por arrastre de fuerza.

Empleo de los acoplamientos

Con los acoplamientos se transmiten frecuentemente los momentos de giro de una máquina motriz (motor) a una máquina operadora, por ejemplo una bomba o una máquina herramienta. Según sean las condiciones de trabajo, los acoplamientos permanecen cerrados (motor-bomba) o pueden acoplarse y desacoplarse, como es el caso por ejemplo en un torno. En las cajas de cambio de marchas se emplean cada vez con más frecuencia acoplamientos (embragues) que actúan entre árbol y rueda dentada y que pueden acoplarse y desacoplarse. Sustituyen de este modo a las ruedas desplazables. Además, con estos acoplamientos puede cambiarse estando en marcha (en carga) el número de revoluciones de un régimen a otro.

CLASES DE ACOPLAMIENTOS

Según sea el cometido de la unión de los árboles, se distingue entre acoplamientos rígidos, móviles, elásticos y desacoplables (embragues) así como formas de construcción especiales.

Acoplamientos rígidos

Con estos acoplamientos se unen entre sí árboles de tal manera que éstos actúan como si fuesen una sola pieza. Para emplear estos acoplamientos es condición que los árboles estén exactamente alineados.

Los **acoplamientos de manguito** transmiten el momento de giro por cierre de fuerza. Por lo tanto los agujeros de los medio casquillos del manguito llevan una tolerancia de −0,1 a −0,3 mm. Las chavetas fijan la posición de las piezas. Los tornillos producen la fuerza de fricción y se aprietan alternativamente para evitar desequilibrios. Empleo: Para momentos de giro pequeños y números de revolucio-

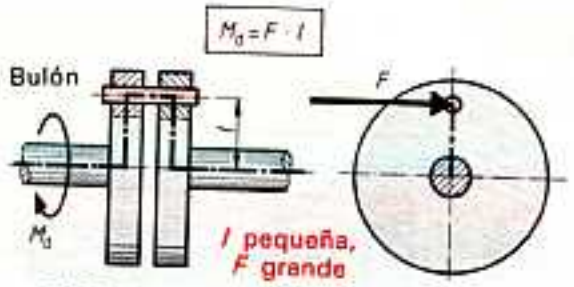


Figura 5-105. Los acoplamientos con elementos de unión fuertes pueden tener un radio de acción pequeño.

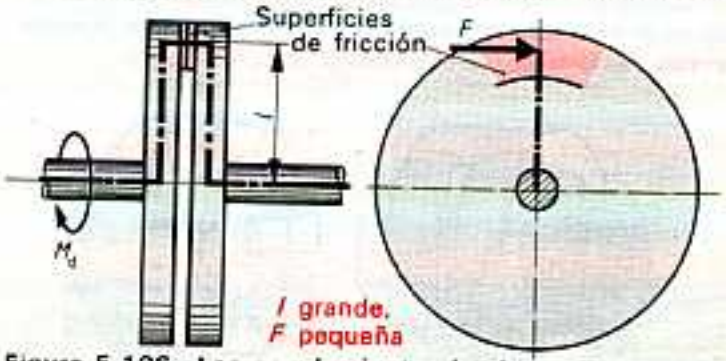


Figura 5-106. Los acoplamientos (embragues) que trabajan por cierre de fuerza tienen generalmente un radio de acción grande con el fin de que pueda ser pequeña la fuerza tangencial *F*.

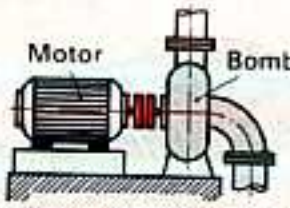


Figura 5-107. El acoplamiento une la máquina motriz (motor) con la máquina operadora (bomba).

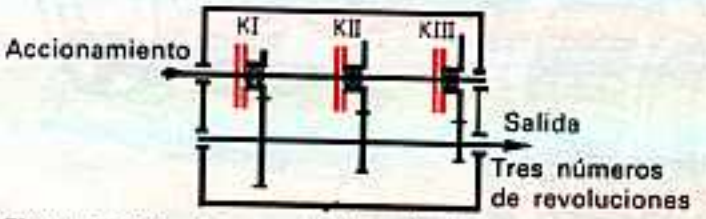


Figura 5-108. Engranaje de velocidades de embragues individuales. Los embragues KI a KIII pueden acoplarse alternativamente.

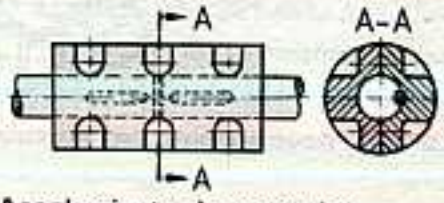


Figura 5-109. Acoplamiento de manguito.
No es apropiado para altos números de revoluciones (desequilibrio).

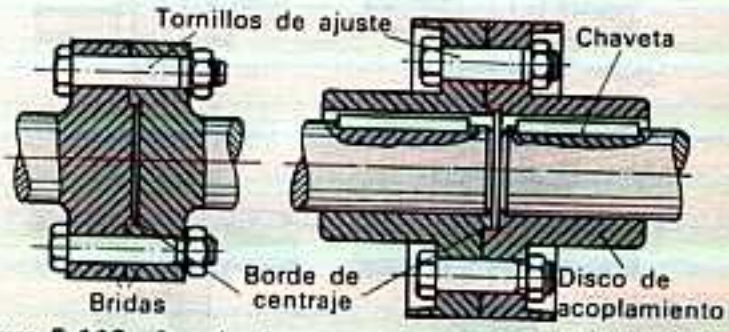


Figura 5-110. Acoplamiento de bridas. Para grandes momentos de rotación.

Figura 5-111. Acoplamiento de platillos



Figura 5-112. Verificación del alineamiento con la regla de filo.

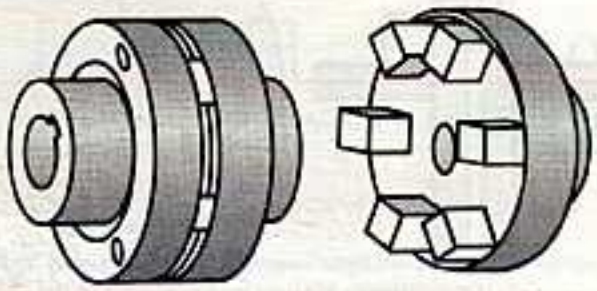


Figura 5-113. Acoplamiento de garras.

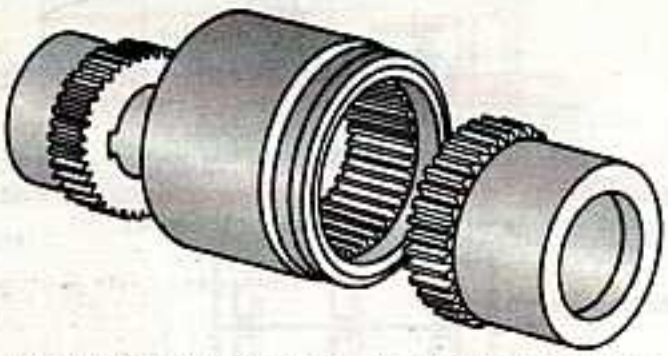


Figura 5-114. Acoplamiento de dientes (acoplable y desacoplable).

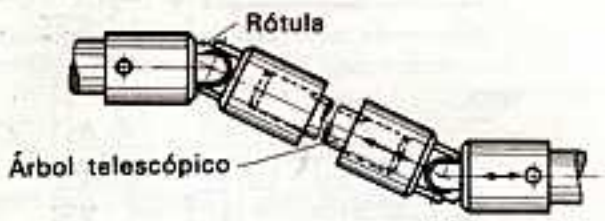


Figura 5-115. Acoplamiento de articulación con dos rótulas.

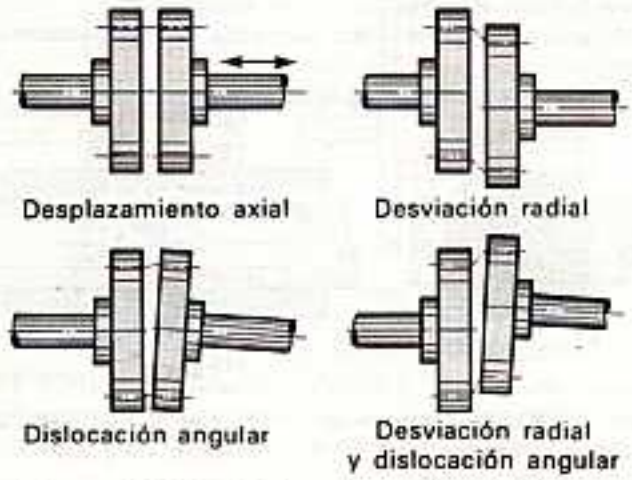


Figura 5-116. Dislocación de los árboles.

nes bajos. Ventaja: El acoplamiento puede montarse cuando ya están montados los árboles.

Los acoplamientos de bridas y los acoplamientos de platillos están unidos mediante tornillos de ajuste y transmiten el momento de giro mediante cierre de fuerza y cierre de forma. La exacta marcha concéntrica de los árboles se garantiza mediante los bordes de centraje. Para montar los acoplamientos hay que apartar los extremos de los árboles. El acoplamiento de bridas tiene extremos de árbol recalcados o soldados y transmite grandes momentos de giro. Su fabricación es cara y por lo tanto se emplean solamente en los casos de exigencias especiales, por ejemplo en los árboles de las turbinas.

Montaje de los acoplamientos rígidos. Antes de atornillarse los acoplamientos tienen que orientarse los puntos de alojamiento de los árboles de tal manera que sus ejes queden exactamente alineados. La exactitud de montaje puede verificarse por el procedimiento de la rendija de luz, por medio de una regla de filo puesta en la periferia de las bridas.

Acoplamientos móviles

Estos acoplamientos transmiten el momento de giro por cierre de forma, pero dejan suficiente holgura para pequeñas variaciones de longitud y dislocaciones de los árboles. A causa del cierre de forma se transmiten íntegramente todas las irregularidades de marcha (choques, movimientos bruscos) del mismo modo que en los acoplamientos rígidos.

El **acoplamiento de garras** transmite el momento de giro mediante las garras cajadas. Algunos tipos de construcción pueden abrirse y cerrarse cuando están parados, mediante desplazamiento de una de las mitades de acoplamiento. La mitad de acoplamiento desplazable está fijada sobre el árbol con una chaveta.

El **acoplamiento dentado** actúa asimismo por cierre de forma. Este acoplamiento puede abrirse y cerrarse mediante desplazamiento del manguito, cuando el manguito está dentado solamente hasta la mitad. Si los dientes están mecanizados con forma ligeramente curvada en dirección axial, permite desviaciones del alineamiento de los árboles de hasta 3° (acoplamiento de dientes curvos).

El **acoplamiento de articulación con rótula** puede unir del modo representado dos extremos de árbol desplazados. El momento de giro a transmitir debe ser pequeño.

Acoplamientos elásticos

En este tipo de acoplamientos las mitades de acoplamiento se unen por cierre de forma mediante un elemento de unión elástico, y debido a ello se compensan oscilaciones bruscas del momento de giro y pequeñas dislocaciones de los árboles. Pueden producirse dislocaciones de los árboles por dilatación térmica de los mismos, alojamiento impreciso, o por oscilaciones y deformaciones de los apoyos de los cojinetes.

Efecto de las uniones elásticas

Como uniones elásticas se emplean topes de goma, manguitos de goma, discos de goma, cintas o estribos de acero de resortes y muelles de compresión. Cuando en el árbol impulsor aparece bruscamente un gran momento de giro, aumenta súbitamente también la fuerza tangencial que actúa sobre la unión elástica. Esta fuerza deforma las piezas de la unión elástica. Los casquillos de goma se aplastan, los manguitos de goma se retuercen, las cintas de acero se doblan elásticamente y los muelles de compresión se comprimen. En



Figura 5-117. Acoplamientos muy elásticos con casquillos de goma abombados dispuestos alternativamente.

las uniones elásticas queda así absorbida la energía que fue necesaria para la deformación, y actúa sobre la mitad de acoplamiento impulsada acelerándola en los instantes siguientes. Dado que esta transmisión al árbol impulsado se efectúa con menor intensidad por la perdida de energía en las piezas elásticas (efecto de amortiguación) el momento de giro que entró bruscamente en el acoplamiento, se transmite con mayor uniformidad.

Ejecución de las uniones elásticas

Acoplamiento con casquillos de goma

Los discos de acoplamiento llevan insertados pernos de acero que llevan en sus extremos libres casquillos de goma en forma de barril. Cuando se cierra el acoplamiento los pernos con los casquillos de goma entran en los orificios de la otra mitad de acoplamiento. Los discos se fijan en los extremos de los árboles mediante chavetas.

Acoplamiento con tiras de goma

Los dos discos de acoplamiento están unidos mediante una tira de goma aprisionada. Según sea la magnitud del momento de giro y el número de revoluciones, así como las exigencias especiales, por ejemplo una gran dislocación de los ejes de los árboles, se emplean partes de goma diferentemente conformadas. Estas partes de goma tienen refuerzos de tejido para elevar su resistencia, igual que los neumáticos de los automóviles.

Acoplamiento con banda de acero

La banda de acero está insertada en forma serpenteante en el dentado de ambas mitades de acoplamiento y se sujeta contra el efecto de la fuerza centrífuga por medio de una cubierta. Cuando se produce una carga en forma de choque la banda se deforma elásticamente entre los dientes que tienen forma de arco. En este tipo de acoplamiento los árboles tienen que estar exactamente alineados, ya que no compensa ninguna dislocación de los árboles. Es apropiado para transmitir momentos de giro grandes y fluctuantes.

Embragues acoplables y desacopables

Los embragues que trabajan por **cierre de forma** solamente pueden acoplarse cuando están parados o en marcha sin carga. A estos embragues pertenecen por ejemplo los acoplamientos de garras y dentados, acoplables y desacoplables. Los embragues que pueden acoplarse y desacoplarse durante la marcha y bajo carga actúan siempre por **cierre de fuerza**. Para que se produzca fricción tiene que actuar sobre las superficies de rozamiento una fuerza perpendicular F_N (fuerza normal) suficientemente grande. Esta fuerza se produce mecánicamente mediante muelles, palancas o asiento cónico,



Figura 5-118. Efecto de la unión elástica.

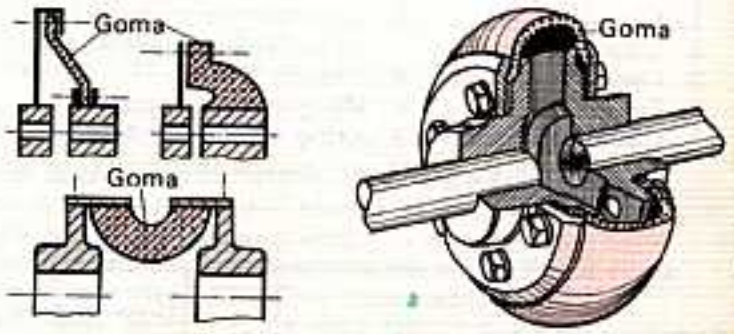


Figura 5-119. Formas de las piezas de goma (izda.).
Figura 5-120. Acoplamiento elástico con tiras de goma.

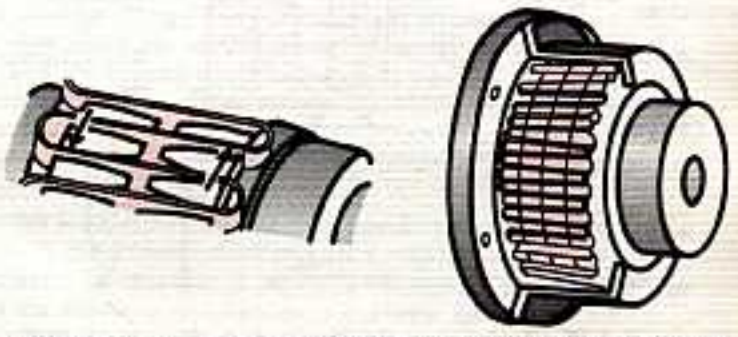


Figura 5-121. Banda de acero bajo carga normal (izda.).
Figura 5-122. Acoplamiento de banda de acero elástico.

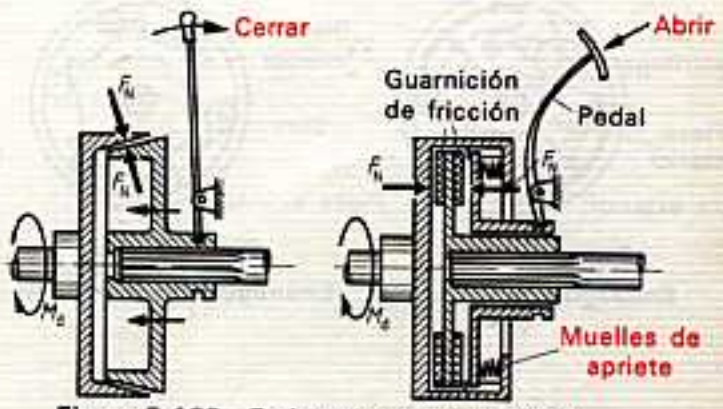


Figura 5-123. Embrague de cono (izda.).
Figura 5-124. Embrague monodisco (dcha.).

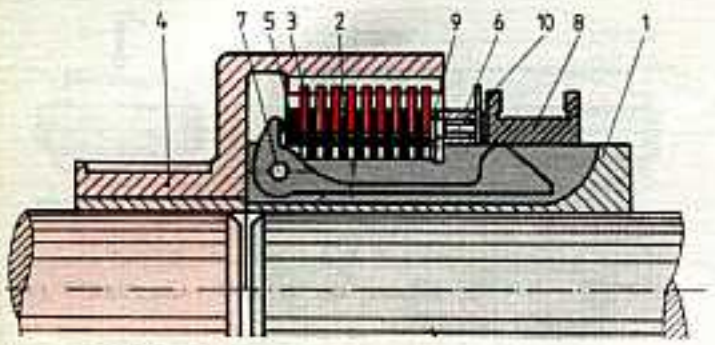


Figura 5-125. Embrague mecánico de láminas o de discos múltiples.

1. Cuerpo interior
2. Láminas interiores
3. Láminas exteriores
4. Cuerpo exterior
5. Disco de presión
6. Disco perforado para la fijación de las espigas indicadoras
7. Palanca y bulón
8. Manguito de embrague
9. Anillo elástico ondulado
10. Tuerca de ajuste con espiga indicadora

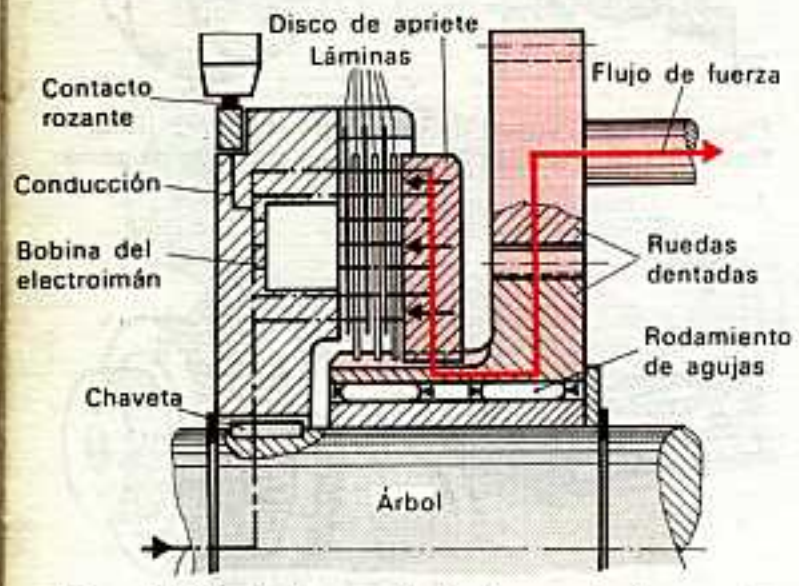


Figura 5-126. Embrague de láminas o de discos múltiples electromagnético.



Figura 5-127. Embrague centrífugo.

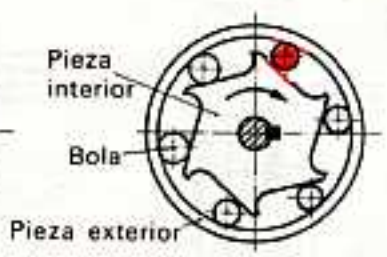


Figura 5-128. Embrague de sobrepaso.

eléctricamente mediante fuerza electromagnética, hidráulicamente mediante aceite a presión o neumáticamente mediante aire comprimido, pero en la mayoría de los casos por medios mecánicos y eléctricos. Si se hace que la fuerza perpendicular actúe lentamente sobre las superficies de fricción, el embrague resbalará e irá arrastrando cada vez más a la mitad de embrague accionada.

Embrague de conos

La fuerza de fricción se transmite mediante el asiento cónico. El deterioro o desgaste de las superficies de fricción hace que patine el embrague. A causa de su baja seguridad de funcionamiento y de sus grandes dimensiones se emplea solamente para fines secundarios.

Embrague monodisco o de disco único

Las superficies de fricción están cubiertas con guarniciones de fricción de tejido de algodón o de amianto, o bien con materiales sintéticos. La fuerza de apriete en el tipo de construcción de la figura se produce mediante muelles que hacen que esté permanentemente cerrado el embrague. La fuerza del pedal actúa contra la fuerza de los muelles y abre el embrague (embrague de automóvil).

Embrague mecánico de láminas o de discos múltiples

La mitad de los discos de acero anulares está unida a la parte exterior del embrague mediante un dentado interior que hay en ella. Los otros discos están ligeramente ondulados y están unidos a la parte interior del embrague mediante un dentado exterior que hay en ella. Los discos ondulados (discos senoidales) deben ocuparse de que quede entre los discos suficiente distancia cuando se suelta el embrague. Todos los discos son desplazables axialmente. Tres palancas elásticas producen la fuerza de apriete cuando se cierra el embrague.

Embrague electromagnético de láminas o de discos múltiples

Este embrague une un árbol con una rueda dentada. Puede maniobrarse a distancia por cable. Cuando se conecta la corriente continua se crea un campo magnético alrededor de la bobina de electroimán. Este campo magnético fluye a través de las láminas y atrae firmemente al disco de apriete.

Embragues especiales

Embrague centrífugo

Cuando la parte interior ha alcanzado un número de revoluciones suficientemente grande, se desvían los pesos centrífugos hacia afuera, presionan las zapatas con sus guarniciones de fricción contra la parte exterior y aprietan de este modo el embrague. Cuando desciende el número de revoluciones, el embrague se abre automáticamente.

Embrague de sobrepaso

Transmite el momento de giro cuando la parte interior tiende a marchar más rápidamente, debido a que suben por las rampas las bolas o rodillos cilíndricos. Abre en el caso contrario.

Ejercicios

Piezas de máquinas

Ejes-árboles-espigas

1. Explicar la diferencia entre ejes y árboles.
2. Citar diferentes formas de árboles.
3. ¿En qué casos especiales se emplean gorrones cónicos, esféricos y de anillos?

Cojinetes de fricción

4. Establecer la diferencia entre los siguientes estados de fricción: fricción en seco- fricción mixta-fricción en líquido.
5. ¿Qué cometidos tienen los cojinetes?
6. Explicar los estados de movimiento que puede observarse en la cuña de lubricante.
7. Describir las tres posiciones de gorrón en el cojinete.
8. ¿Según qué criterios se selecciona la viscosidad de un lubricante para cojinetes de fricción?
9. ¿Por qué no debe romperse la capa de lubricante que hay en un cojinete de fricción?
10. Establecer la diferecia entre cojinetes radiales y cojinetes axiales.
11. Ordenar por grupos los conceptos: cojinete longitudinal, cojinete portante, cojinete transversal, cojinete de apoyo, cojinete axial y cojinete radial.
12. ¿Qué ventajas tienen los soportes rectos partidos?
13. ¿Qué ventaja tienen los cojinetes de fricción reajustables?
14. ¿Por qué razón proporcionan mayor precisión de marcha los cojinetes de cuñas múltiples?
15. ¿Cuáles son las exigencias que se imponen a los materiales para cojinetes?
16. Citar algunos materiales para cojinetes.
17. ¿Qué son los cojinetes de varias capas?
18. Describir cojinetes de metal sinterizado.
19. Describir formas de conducir el lubricante.
20. ¿Qué se entiende por presión en los bordes de los cojinetes de fricción?
21. Describir el colado de un cojinete de fricción.
22. Citar las causas del calentamiento de un cojinete de fricción.
23. ¿Qué es lo que debe observarse antes de insertar un casquillo cerrado?

Rodamientos

24. ¿Qué se entiende por resistencia a la rodadura?
25. Citar ventajas e inconvenientes de los rodamientos.
26. Describir clases de rodamientos y los tipos de carga correspondientes.
27. Explicar la función de «cojinete fijo» y «cojinete suelto».
28. ¿Qué se ha de observar cuando se montan o desmontan rodamientos.
29. Describir los cuatro casos de carga que se dan en los rodamientos.
30. ¿Qué diámetros de los rodamientos tienen siempre una tolerancia en menos?
31. ¿De qué modo pueden fijarse los rodamientos en sus asientos?
32. ¿Qué es lo que debe observarse cuando se engrasan los rodamientos?

Juntas de piezas de máquina redondas

33. Establecer la diferencia entre los modos de actuar las juntas dinámicas y las obturaciones.
34. Explicar las juntas dinámicas.
35. Citar obturaciones y describir su constitución.

Acoplamientos

36. Describir la constitución fundamental de los acoplamientos.
37. Explicar la relación existente entre el momento de giro y el radio de acción del acoplamiento.
38. Establecer la diferencia entre elementos de unión por cierre de fuerza y por cierre de forma en los acoplamientos.
39. Citar ejemplos de empleo de acoplamientos.
40. ¿En qué consiste la diferencia entre acoplamientos rígidos y acoplamientos móviles?
41. ¿Qué es lo que ha de observarse cuando se montan acoplamientos rígidos?
42. ¿Qué dificultad plantea el montaje de acoplamientos de bridas y de platillos?
43. ¿Qué ventaja tienen los acoplamientos móviles?
44. Citar dos tipos de construcción de acoplamientos móviles.
45. ¿Por qué se caracterizan los acoplamientos elásticos?
46. ¿Cómo actúan las uniones elásticas en los acoplamientos elásticos?
47. Explicar diferentes tipos de construcción de acoplamientos elásticos.
48. Describir los cuatro tipos de dislocación de los árboles que se absorben mediante acoplamientos elásticos.
49. Establecer la diferencia entre embragues acoplables por cierre de forma y acoplables por cierre de fuerza.
50. Explicar la constitución de un embrague de conos.
51. Describir la constitución y funcionamiento de un embrague mecánico de láminas o multidisco.
52. Describir el funcionamiento de un embrague electromagnético de láminas o multidisco.
53. ¿En qué casos se emplean los embragues centrífugos?
54. ¿Cómo actúa un embrague de sobrepaso?
55. ¿Por qué razón es especialmente apropiado como embrague para automóviles el embrague monodisco o de disco único?

5.3.6 Ruedas dentadas

FORMA DE LOS DIENTES

Las ruedas dentadas transmiten directamente y por cierre de forma momentos de giro entre dos árboles en pequeña distancia. Con las ruedas dentadas pueden realizarse también diferentes relaciones de transmisión y modificarse los sentidos de rotación.

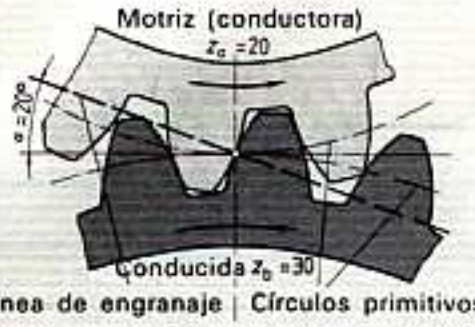


Figura 5-129. Transmisión de fuerzas mediante ruedas dentadas.
El punto de contacto de ambos flancos de diente se mueve durante la marcha a lo largo de la línea de engrane y forma con la horizontal el ángulo de engrane o de presión α.

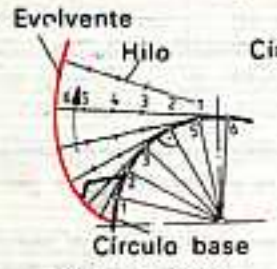


Figura 5-130.
Generación de una evolvente.

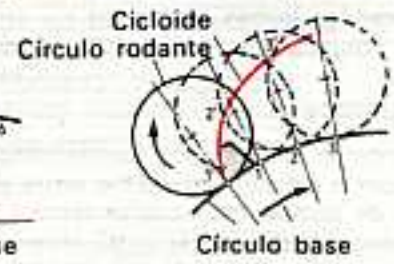


Figura 5-131.
Generación de una cicloide.

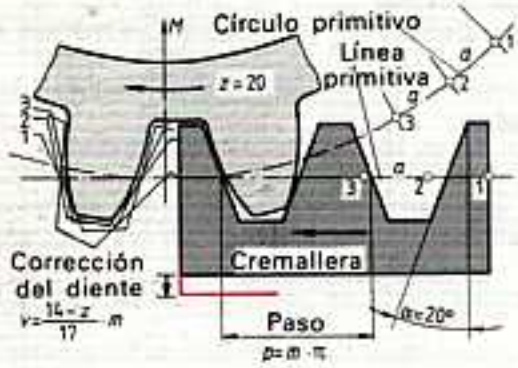


Figura 5-132. Generación del flanco de diente de un dentado de evolvente.



Figura 5-133. Número de dientes límite en el dentado de evolvente. Cuando el número de dientes es inferior al número de dientes límite se producen pies de diente destalonados.

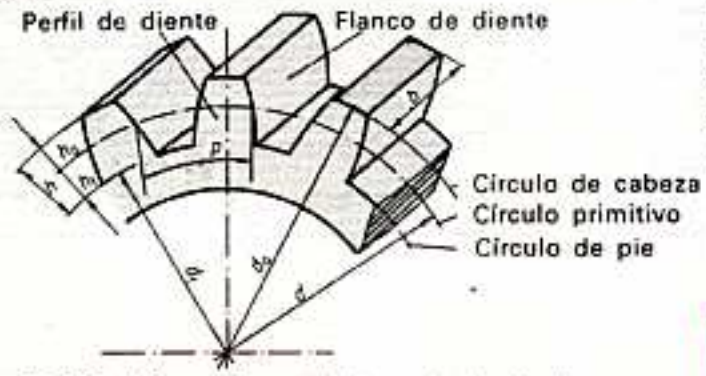


Figura 5-134. Dimensiones de la rueda dentada.

Durante la transmisión de fuerza los flancos de diente deben rodar uno sobre otro y deslizarse lo menos posible uno sobre otro, con el fin de que permanezcan bajo el desgaste, las pérdidas por fricción y el desarrollo de ruidos. Además de esto, las velocidades periféricas de los círculos primitivos de ambas ruedas deben permanecer iguales en el transcurso de una vuelta (ley fundamental del dentado).

Estas condiciones se cumplen aproximadamente cuando los flancos de diente están conformados según una **curva de rodadura** (evolvente o cicloide). Para la construcción de máquinas en general se elige la **evolvente** (línea de hilo). La evolvente se produce cuando se desenrolla de una circunferencia un hilo tensado alrededor de ella. El flanco de diente es una pequeña parte de una evolvente.

El dentado de evolvente es insensible a las pequeñas variaciones de la distancia entre ejes, es fácil de fabricar, ya que puede mecanizarse con herramientas de flancos rectos. Los dientes tienen un pie fuerte.

La cicloide se produce haciendo rodar un círculo de rodadura sobre un círculo base. El dentado cicloidal trabaja con más precisión, pero es esencialmente más sensible a las variaciones de la distancia entre ejes y se emplea predominantemente en la industria de la relojería. Las herramientas para su fabricación tienen flancos abombados.

Si se hace infinitamente grande el diámetro del círculo primitivo de un par de ruedas dentadas con dentado de evolvente, su círculo primitivo será una recta, produciéndose una cremallera con flancos de diente rectos que discurren en un ángulo α respecto a la línea primitiva. Este ángulo es el ángulo de ataque o de engrane o de presión, que en el caso del perfil de referencia del dentado de evolvente según la norma DIN 867 es $\alpha = 20°$. Este ángulo está indicado en las herramientas talladoras de engranaje.

Producción de los flancos de diente

Si se piensa en la cremallera como herramienta de mortajar, sus filos producen en la pieza de partida para la rueda dentada a pasos los flancos de diente con forma de evolvente, cuando la cremallera y la pieza de partida se mueven hacia la izquierda en una medida «a» igual después de cada carrera (en el diente izquierdo se muestra cómo se producen a pasos los flancos de diente).

Cuando el número de dientes de una rueda dentada de evolvente es inferior a un número de dientes límite $z = 17$, los dientes son en el pie más delgados que en el círculo primitivo. La «disminución» de los flancos de diente puede evitarse si la línea primitiva del perfil de la cremallera se aparta en la cuantía de la medida «v» del centro de la rueda concerniente. Con ésto aumenta en «v» la distancia entre ejes. Se obtiene de este modo un dentado que recibe el nombre de dentado corregido.

Dimensiones de las ruedas dentadas

La base de medición de una rueda dentada es su círculo primitivo, con la circunferencia $\pi \cdot d$, que puede expresarse también mediante el paso p (en medida de arco) y su número de dientes z. El valor $\frac{p}{\pi}$ se denomina módulo m en mm:

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d}{z} \quad \text{(Serie de módulos } m = 0{,}05 \text{ a } 70\text{)}$$

El módulo m indica cuántas veces está contenido z en d.

Dos ruedas dentadas que deban trabajar conjuntamente tienen que coincidir en módulo y en ángulo de ataque.

FABRICACIÓN DEL DENTADO

Las posibilidades de utilización y la duración de una rueda dentada dependen en gran medida de la calidad de su dentado. Son decisivas la precisión de forma y la calidad superficial de los flancos de diente.

Fresado con fresas de perfil constante

Con fresas de disco destalonadas cuyos filos tienen el perfil de los huecos de diente, se fresan las ruedas dentadas en la fresadora universal, con el cabezal divisor. Cada hueco de diente se fabrica individualmente.

Para obtener dientes con forma totalmente precisa tendría que existir en un módulo determinado una fresa distinta para cada número de dientes. Pero por motivos económicos se aceptan pequeñas desviaciones y se sale adelante con juegos de fresas de ocho fresas cada uno, hasta $m = 8$, y con juegos de quince fresas a partir de $m = 9$.

Fresado por generación

En este caso una fresa madre o de generación según la norma DIN 8000 mecaniza los huecos de diente de la rueda. La fresa se parece a un tornillo sin fin con perfil de cremallera de evolvente, en el que se han fresado ranuras receptoras de la viruta perpendicularmente a los hilos del tornillo. La pieza y la herramienta trabajan conjuntamente igual que el tornillo sin fin y la rueda helicoidal. Si debe fresarse por ejemplo una rueda dentada con $z = 50$, la rueda a tallar da una vuelta por cada cincuenta vueltas de la fresa madre. El paso del tornillo sin fin corresponde al paso de la rueda dentada a fresar. La herramienta se hace avanzar paralelamente al eje de la pieza. Si se sujetan varias piezas superpuestas, se acorta el tiempo de trabajo. Para fresar ruedas cilíndricas de dentado recto se ha de inclinar la fresa en la magnitud del ángulo de inclinación γ de sus dientes, y en el caso de ruedas cilíndricas de dentado oblicuo se ha de tener en cuenta además el ángulo de inclinación de los dientes de la rueda β.

Cuando se fresan ruedas helicoidales la fresa avanza radialmente hacia la pieza cuando el ángulo de inclinación es entre 6° y 8°, y tangencialmente cuando se trata de ángulos mayores.

Mortajado por generación

Los huecos de dientes se mortajan por medio de una **rueda cortante** (DIN 1825 a 1829), que tiene la forma de una rueda cilíndrica de dentado recto. La herramienta ejecuta la carrera de trabajo y la de retroceso y gira al mismo tiempo alrededor de su propio eje. La rueda dentada a mortajar trabaja con la herramienta igual que si fuese una rueda cilíndrica. Durante la carrera de retroceso se aparta la pieza. El movimiento de aproximación parte de la herramienta.

Rectificado por generación

En este caso los flancos de trabajo de la muela abrasiva están en la dirección de los flancos de una herramienta de cremallera imaginaria. El rectificado mejora la calidad superficial de los flancos de diente. Los engranajes que funcionan a alta velocidad periférica marchan de este modo con menos ruido y menor desgaste.



Figura 5-135. Fresado de forma de una rueda dentada por medio de una fresa de perfil constante destalonada. La rueda a tallar se gira una división de diente después de cada pasada.



Figura 5-136. Fresado por generación de una rueda dentada. Cuando se fresan ruedas cilíndricas con dentado oblícuo el ángulo de inclinación de la fresa será $\beta \pm \gamma$. Se tomará la suma cuando la fresa y la rueda dentada tengan sentidos de paso diferentes, por ejemplo la fresa paso a izquierdas y la rueda dentada paso a derechas. Se tomará la diferencia cuando la fresa y la rueda dentada tengan el mismo sentido de paso, por ejemplo que sean ambas de paso a derechas.



Figura 5-137. Fresado por generación de una rueda cilíndrica con dentado oblícuo.



Figura 5-138. Mortajado por generación de un dentado exterior y un dentado interior con una rueda cortante (rueda de mortaja).

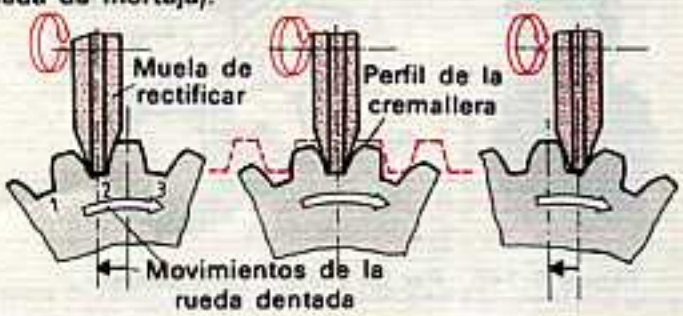


Figura 5-139. Rectificado por generación. Se rectifica en acabado en cada caso un par de flancos de diente.

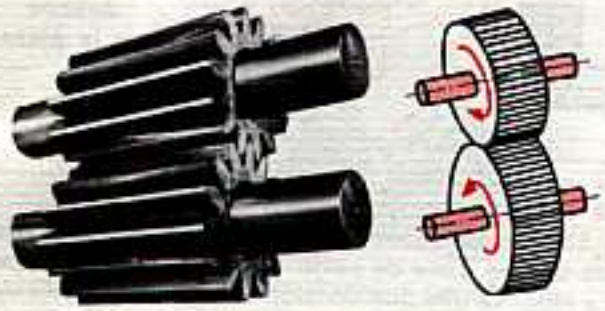


Figura 5-140. Par de ruedas cilíndricas con dentado recto.

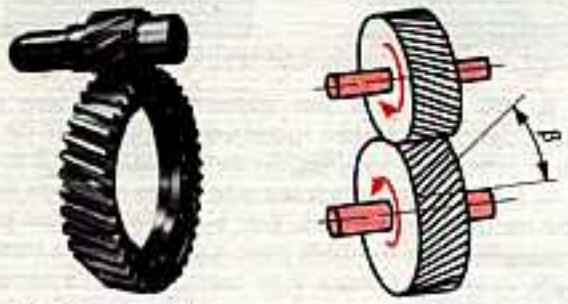


Figura 5-141. Par de ruedas cilíndricas con dentado oblícuo.

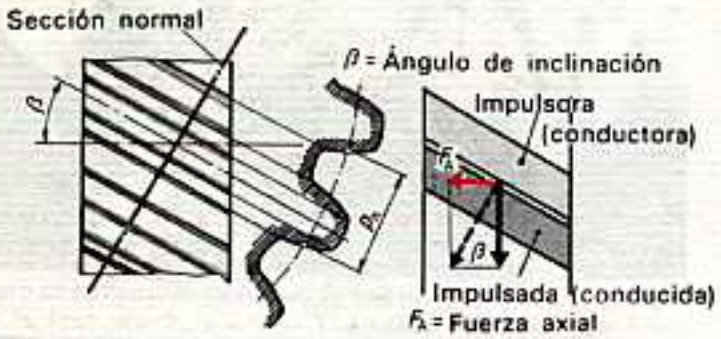


Figura 5-142. Perfil normal de los dientes oblicuos.



Figura 5-143. Dentado oblicuo según ejemplo a) y b).
Figura 5-144. Dentado en flecha o en V (chevrón) (dcha.).

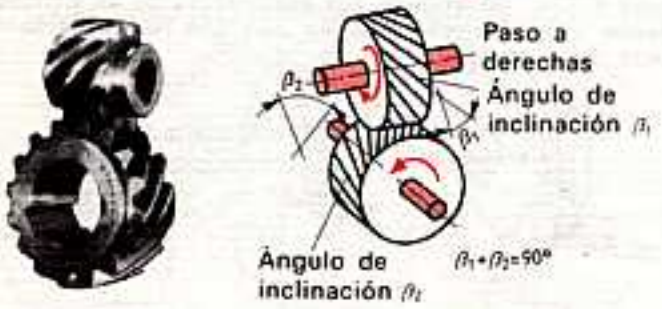


Figura 5-145. Par de ruedas helicoidales.

5.3.7 Emparejamiento de ruedas

EMPAREJAMIENTO DE RUEDAS DENTADAS

Cuando dos ruedas dentadas están engranadas una con otra, se habla de un par de ruedas dentadas o de un emparejamiento de ruedas. Varios pares de ruedas dispuestos unos tras otros se denominan emparejamiento de ruedas múltiple o tren de engranajes. Por engranaje se entienden emparejamientos de ruedas con sus correspondientes árboles, cojinetes y carcasas.

PARES DE RUEDAS CILÍNDRICAS

Ruedas cilíndricas con dentado recto

Estas ruedas tienen dientes que transcurren paralelos al eje del árbol. Dado que siempre está engranado solamente un diente, son muy ruidosas. Su fabricación es sencilla.

Ruedas cilíndricas con dentado oblícuo

Sus dientes forman un ángulo $\beta = 8°$ a $20°$ con el eje del árbol. En la sección normal, perpendicular a los flancos de diente, los dientes tienen el perfil del dentado de evolvente normal. Los dientes pueden estar inclinados a derechas y a izquierdas. Los dientes oblícuos durante el engrane se van cargando y descargando de nuevo paulatinamente. Siempre engranan varios dientes simultáneamente, por lo tanto estos engranajes funcionan suavemente y con poco ruido. Pueden solicitarse mucho y cuando sus flancos de diente están adecuadamente mecanizados pueden funcionar con velocidades periféricas de hasta $v = 160$ m/s. Los dientes situados oblícuamente producen una fuerza axial F_A que tiene que absorberse por medio de cojinetes de rodillos cónicos o cojinetes axiales.

Ruedas cilíndricas con dentado oblícuo doble («chevrón»)

Tienen las ventajas del dentado oblícuo. El inconveniente, es decir la fuerza axial que ejercen en la rueda y el árbol, se anula mediante el ángulo de inclinación de sentido contrario del dentado. Por lo tanto, se emplean para la transmisión de grandes momentos de giro, por ejemplo, engranajes para máquinas marinas. Son usuales tres ejecuciones constructivas:

a) Sobre un árbol se montan una junto a otra y se atornillan entre sí dos ruedas cilíndricas con dentado oblícuo. En este caso sólo es admisible el sentido de rotación en el que las fuerzas axiales están dirigidas una hacia otra. La rueda impulsora, más pequeña (piñón), está fabricada de una pieza.
b) En un cuerpo de rueda ancho se tallan ambos dentados mediante fresado por generación. Es necesario dejar una distancia entre ambas coronas dentadas que sirva de salida para las fresas.
c) Dentado en flecha o en V con dientes cerrados.

Pares de ruedas helicoidales

Tienen ruedas cilíndricas con dentado oblícuo, cuyos árboles se cruzan. Si se suman los ángulos de inclinación β_1 y β_2 de los dientes de ambas ruedas, se obtiene el ángulo de cruzamiento de ambos árboles. Frecuentemente se verifica que $\beta_1 + \beta_2 = 90°$. Los flancos de los dientes ejecutan además del movimiento de rodadura un movimiento de deslizamiento, dado que durante el funcionamiento

del engranaje se atornillan unos en otros. Con los engranajes de ruedas helicoidales pueden transmitirse solamente fuerzas muy pequeñas con altos números de revoluciones. Las relaciones de transmisión que se logran con éllas tienen su límite en $i = 5{:}1$.

Par de ruedas interiores

Los pares de ruedas interiores tienen una distancia entre ejes pequeña. Se emplean por tanto cuando falta espacio. Sus ruedas dentadas giran en el mismo sentido.

Rueda y cremallera

La cremallera puede considerarse como parte de una corona dentada con diámetro primitivo infinitamente grande. Con la rueda y cremallera pueden transformarse movimientos de rotación en movimientos rectilíneos y viceversa.

Montaje de los pares de ruedas cilíndricas

Cuando un par de ruedas cilíndricas deba trabajar sin perturbaciones, las distintas ruedas tienen que coincidir en sus dimensiones (espesor de diente, altura de diente, paso) y en la forma de sus dientes, tienen que girar con centrado exacto y sin ningún alabeo. Las superficies de contacto entre la rueda y el árbol no deben estar cruzadas. Cuando se trata de máquinas de marcha rápida tienen que equilibrarse cuidadosamente los árboles o husillos con las ruedas ajustadas sobre ellos.

En el caso de ruedas cilíndricas con dentado recto los flancos de diente tienen que transcurrir exactamente paralelos al eje de la rueda. En estas ruedas y en las ruedas cilíndricas de dentado oblícuo se verifica la dirección de los dientes por medio de palpadores sensibles y en un banco de comprobación.

En los pares de ruedas dentadas la exacta distancia entre ejes

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m}{2}(z_1 + z_2)$$

es decisiva para el perfecto engrane de los dientes.

Es difícil montar los componentes del engranaje de manera que los flancos y los flancos contrarios de los dientes se toquen en toda su longitud. Mediante entintado pueden hacerse visibles las zonas de contanto entre flancos. Si se ejecutan ligeramente abombados los flancos de diente en su dirección longitudinal, se produce una forma del flanco en la que la zona central de los mismos es la zona portante. Esta forma se adapta mejor a las variaciones de carga y a pequeños errores de dentado y de montaje.

PARES DE RUEDAS CÓNICAS

Se emplean cuando los árboles se cruzan.

El ángulo de intersección es generalmente de 90°, pero puede también ser más pequeño. El funcionamiento de las ruedas cónicas se explica mediante la rodadura de dos superficies laterales de cono, cuyos vértices coinciden con el punto de intersección de los ejes de las ruedas.

Los dientes de las ruedas cónicas de dentado recto disminuyen hacia la punta del cono imaginario. Esto dificulta su fabricación, disminuye la precisión y requiere un montaje especialmente preciso, con el fin de que no se atasquen los dientes.

Cuando los pares de ruedas cónicas deban transmitir grandes potencias y marchar suavemente, se prevén dientes oblícuos, en espiral o en arco circular, para mejorar las condiciones de engrane.



Figura 5-146.

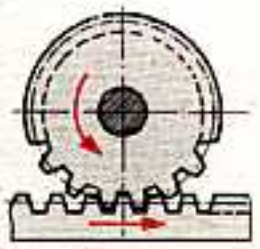


Figura 5-147.

Par de ruedas interiores. Rueda dentada y cremallera.

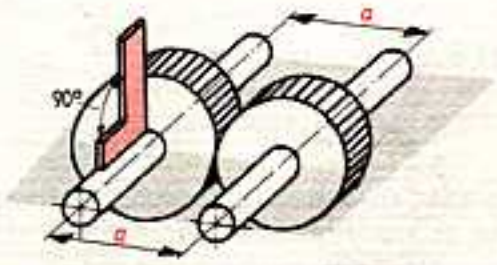
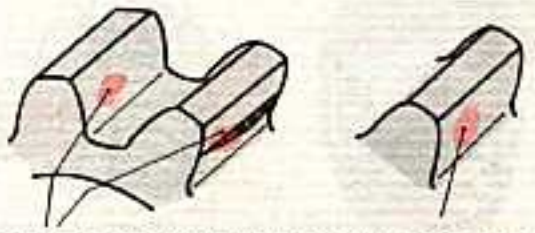


Figura 5-148. Situación de montaje de las ruedas cilíndricas.



Superficie portante en flancos de diente abombados longitudinalmente — Correcto

Superficie portante en diente cargado unilateralmente — Incorrecto

Figura 5-149. Superficies portantes o sustentadoras entintadas para comprobar la situación de montaje.

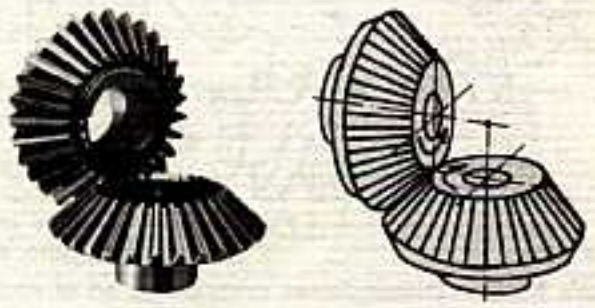


Figura 5-150. Par de ruedas cónicas con dentado recto.



Figura 5-151. Par de ruedas cónicas con dentado curvo o en arco.

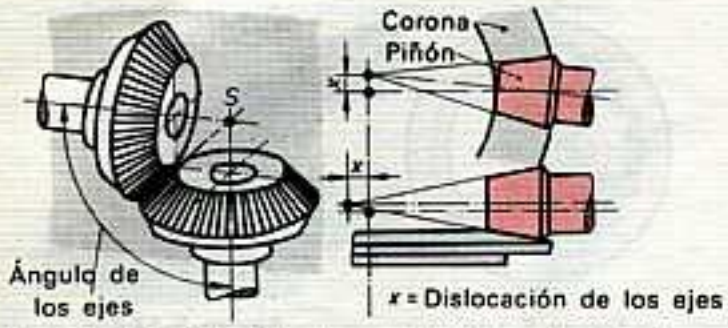


Figura 5-152. Situación de montaje de ruedas cónicas.
Figura 5-153. Defectos de montaje de los pares de ruedas cónicas (dcha.).



Figura 5-154. Superficies portantes o sustentadoras de los pares de ruedas cónicas con dentado curvo.

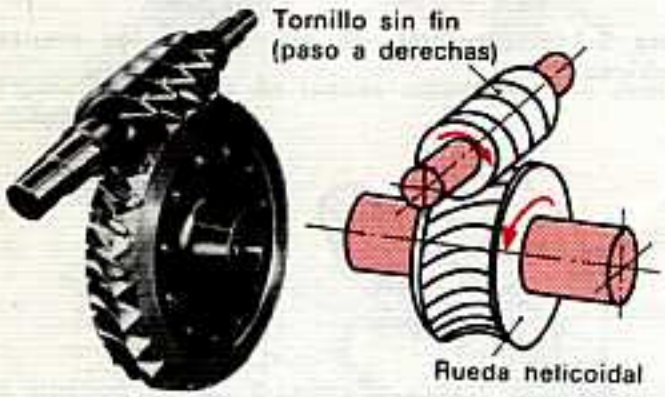


Figura 5-155. Engranaje de tornillo sin fin.

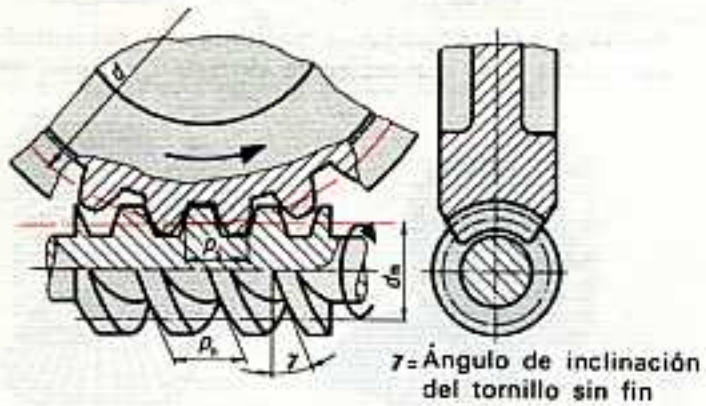


Figura 5-156. Dimensiones principales en el engranaje de tornillo sin fin.

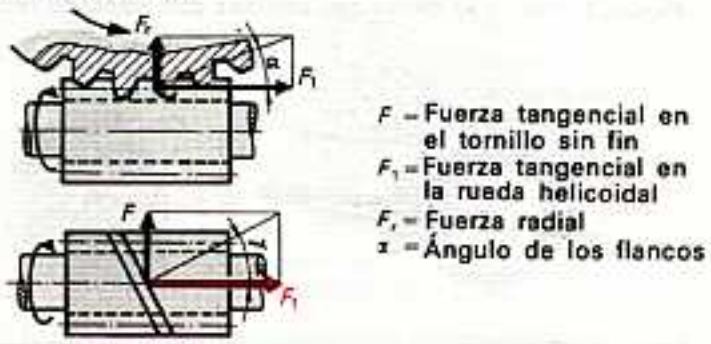


Figura 5-157. Fuerzas en el engranaje de tornillo sin fin.

En el dentado en arco engranan simultáneamente en la corona al menos dos dientes del piñón. Esto mejora la suavidad de la marcha. Los ejes se cruzan entre sí. El eje del piñón puede estar desplazado respecto al eje de la corona hasta aproximadamente 1/8 del diámetro primitivo de la misma. Esto produce, sobre todo en los automóviles, una ubicación más baja del árbol de transmisión, que reduce menos el espacio interior.

Montaje de los pares de ruedas cónicas

Las ruedas cónicas con dentado recto son especialmente sensibles a las dislocaciones de sus ejes. Cuando hay errores solamente sustentan los cantos de los dientes, lo cual acarrea sobre todo un desgaste prematuro del piñón. Cuando se montan los pares de ruedas cónicas se ha de observar que los ejes de las ruedas cruzen formando el ángulo requerido. Para esto se ha de verificar cuidadosamente en especial el asiento de los cojinetes en las carcasas.

En el caso de las ruedas cónicas con dentado en arco, los flancos de los dientes están diferentemente curvados en la rueda y en la rueda contraria. Por tanto se tocan solamente en el centro de los flancos. Cuando hay dislocaciones de los ejes se traslada la superficie de contacto, con lo cual se evita que se produzca una sobrecarga unilateral. Al haber carga aumentan las superficies de contacto entre los flancos de diente.

ENGRANAJE SIN FIN

En los engranajes sin fin los árboles se cruzan formando un ángulo de 90°. Estos engranajes permiten grandes relaciones de transmisión y producen autorretención cuando el tornillo sin fin es de un hilo.

El tornillo sin fin es la parte impulsora y es similar a un tornillo de movimiento con rosca trapecial (cremallera de evolvente). El tornillo sin fin impulsa a la rueda helicoidal. Puede ser de uno o varios pasos y a derechas o a izquierdas. Los dientes de la rueda helicoidal pueden compararse con una parte de una tuerca que engrane parcialmente sobre un perno roscado.

Los engranajes de tornillo sin fin son apropiados para grandes relaciones de transmisión de hasta $i = 60{:}1$ (60 vueltas del tornillo sin fin = una vuelta de la rueda helicoidal). Esta relación es válida también para las fuerzas a transmitir. Los engranajes sin fin marchan silenciosamente y pueden transmitir grandes potencias. Cuando el ángulo de inclinación γ de los hilos del sin fin es menor de 5°, el engranaje sin fin es de retención automática, es decir no puede accionarse por la rueda helicoidal. En los aparatos elevadores este efecto de autorretención impide que descienda la carga.

En los engranajes sin fin surgen grandes empujes axiales que tienen que absorberse mediante los correspondientes cojinetes axiales. La fuerza tangencial F procedente del momento de giro del sin fin produce la fuerza tangencial F_1 en la rueda helicoidal, cuya fuerza de reacción dirigida hacia la izquierda produce el empuje axial en el cojinete del sin fin. La fuerza F_1 provoca la fuerza radial F_r que solicita al cojinete de la rueda helicoidal. Entre el sin fin y la rueda helicoidal se produce una gran fricción de deslizamiento. Con el fin de mantener el desgaste y la producción de calor dentro de unos límites, se han de adecuar entre sí los materiales del sin fin (acero) y de la rueda helicoidal (fundición gris, aleación CuSnP). Por lo tanto, el engranaje tiene que funcionar también parcialmente en un baño de aceite. Las carcasas suelen llevar un indicador del nivel de aceite.

Montaje de un engranaje sin fin

En el montaje es importante que los ejes del sin fin y de la rueda helicoidal se hallen en planos paralelos E_1, E_2. La distancia entre los planos será igual a la distancia entre ejes. Los ejes tienen que cruzarse a 90°, y el plano E_3 vertical que pasa por el eje del sin fin tiene que pasar por el centro de los dientes de la rueda helicoidal. En el caso de que deban coincidir exactamente las posiciones de los ejes del engranaje sin fin, es imprescindible mantener exactamente la posición de los ejes en los cojinetes en la carcasa del engranaje.

Las posiciones correctas del sin fin y la rueda helicoidal puede controlarse mediante entintado de los flancos portantes. Para ésto se entinta ligeramente el flanco del sin fin que hace contacto.

Durante el funcionamiento sin carga solamente debe eliminarse la tinta en la parte exterior del flanco del diente de la rueda helicoidal. A plena carga la superficie portante (tinta eliminada) debe cubrir la mayor parte posible del flanco del diente.

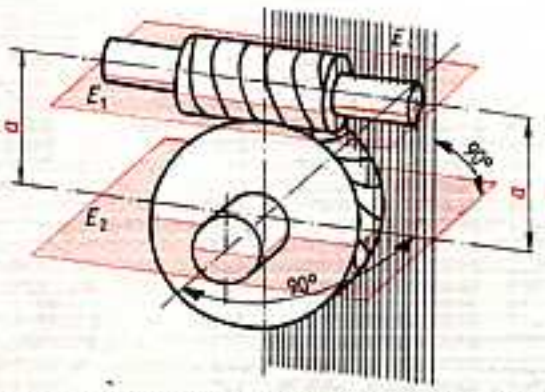


Figura 5-158. Situación de montaje del tornillo sin fin y la rueda helicoidal.

5.3.8 Engranajes

ENGRANAJES DE RUEDAS DENTADAS ESCALONADOS

Con los engranajes escalonados pueden variarse escalonadamente las relaciones de transmisión entre árboles para obtener, independientemente del número de revoluciones constante de la máquina motriz (motor eléctrico, motor de combustión interna), varios números de revoluciones necesarios para el funcionamiento de la máquina operadora (máquina herramienta, aparato elevador).

Por ejemplo, al tornear, las dimensiones y los materiales de las piezas, así como el tipo de las herramientas, exigen que puedan adecuarse entre sí el movimiento principal y el movimiento de avance. Cuantos más regímenes de giro diferentes tenga una máquina mejor podrá aprovecharse ésta.

Engranaje de cambio de ruedas

Con este engranaje se establece la deseada relación de transmisión mediante intercambio de las ruedas dentadas. A cada máquina pertenece un juego de **ruedas de cambio**. Las ruedas pueden cambiarse individualmente. Con la **guitarra de ruedas** se colocan las ruedas en la posición necesaria para su perfecto funcionamiento. Las ruedas dentadas correctamente colocadas tienen que engranar uniformemente cuando se hacen girar a mano.

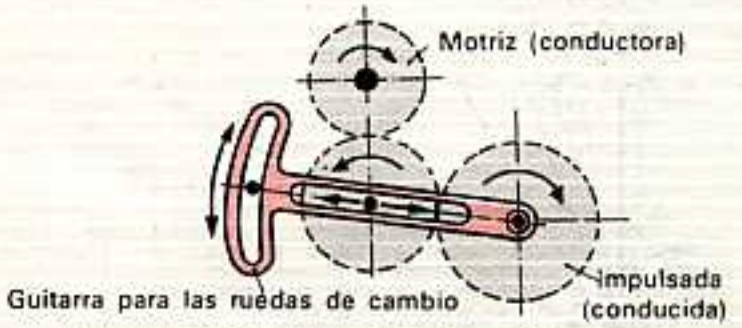


Figura 5-160. Engranaje de cambio de ruedas.

Engranaje de corazón de inversión

Con este engranaje se varía el **sentido de rotación** de árboles y husillos, permaneciendo igual la relación de transmisión. Cuando las cargas son pequeñas se intercalan entre el accionamiento y la salida ruedas cilíndricas que están dispuestas en un corazón de inversión basculante.

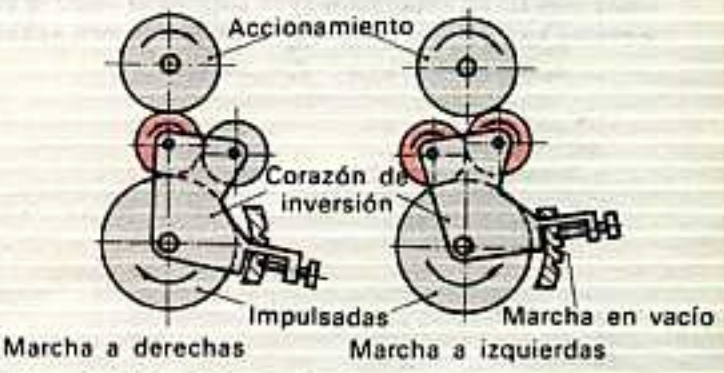


Figura 5-161. Engranaje de corazón de inversión.

Engranaje de ruedas corredizas

Mediante desplazamiento lateral de las ruedas dentadas o de los trenes de ruedas dentadas (bloques), se engranan los pares de ruedas dentadas necesarios para lograr una relación de transmisión

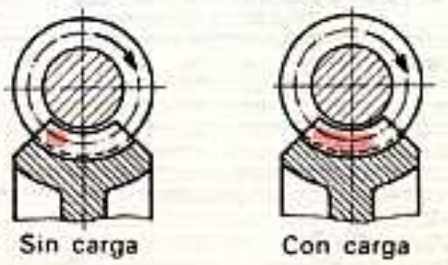


Figura 5-159. Superficies portantes o sustentadoras para verificar la situación de montaje.

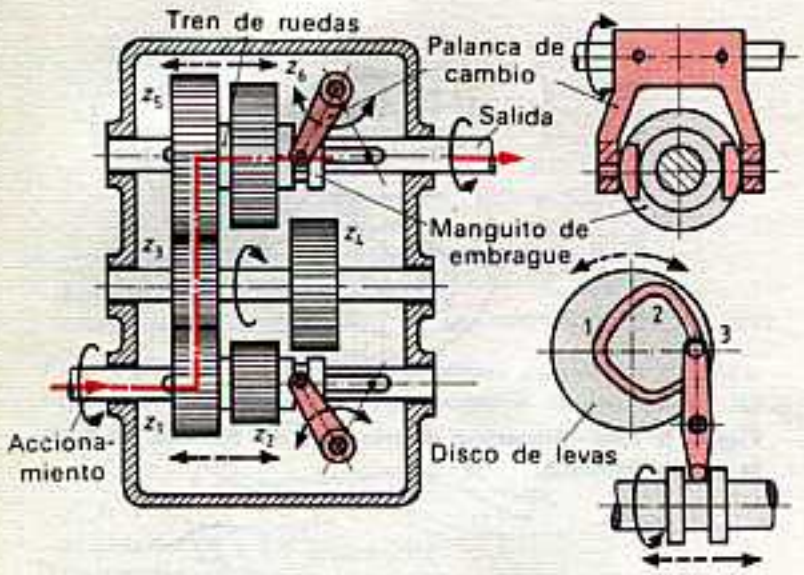


Figura 5-162. Engranaje de ruedas corredizas. El disco de levas, accionado por volante, permite tres posiciones de cambio.

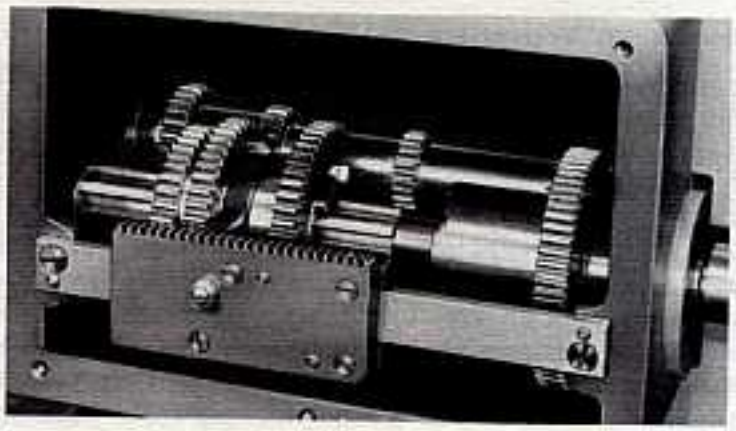


Figura 5-163. Engranaje de ruedas corredizas. Engranaje de avance para un torno. En el árbol anterior ajusta el tren de tres ruedas desplazable (tres ruedas dentadas conjuntadas). La colisa de cremallera con horquilla de cambio, se desplaza mediante volante y rueda dentada en la tapa de carcasa (no se ve en la figura).

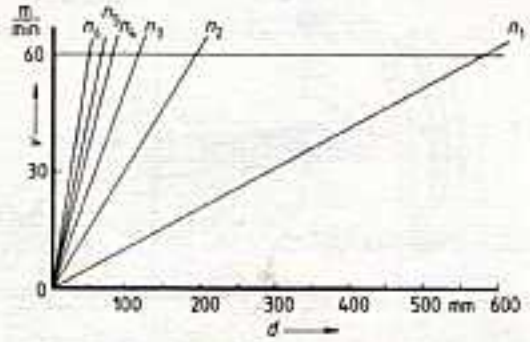


Figura 5-164. Diagrama *v-d* con escalonamiento de revoluciones en serie aritmética.

$n_1 =$ 33/min; $d_1 = 580$ mm
$n_2 = n_1 + a =$ 97/min; $d_2 = 197$ mm
$n_3 = n_1 + 2a = 161$/min; $d_3 = 119$ mm
$n_4 = n_1 + 3a = 225$/min; $d_4 = 85$ mm
$n_5 = n_1 + 4a = 289$/min; $d_5 = 66$ mm
$n_6 = n_1 + 5a = 353$/min; $d_6 = 54$ mm

deseada. Las ruedas corredizas ajustan generalmente sobre árboles acanalados que garantizan un asiento preciso y un fácil desplazamiento. Con estos engranajes pueden transmitirse también momentos de giro esencialmente mayores que con cuñas o chavetas. Con el fin de lograr mayores relaciones de transmisión, se montan una tras otra varios pares de ruedas dentadas (engranaje de velocidades escalonados).

Los engranajes de ruedas corredizas pueden cambiarse a mano mediante palancas de cambio a través de **horquillas de cambio** (giratorias alrededor de un punto de apoyo) o con un mecanismo de cremallera y **horquillas desplazables** (en línea recta). También pueden cambiarse mediante embragues de láminas o discos múltiples, que pueden accionarse mecánica, electromagnética o hidráulicamente.

ESCALONAMIENTO DE LOS ENGRANAJES

El número de relaciones de transmisión necesario para un engranaje, viene determinado por la finalidad de empleo de la máquina (máquina herramienta, máquina motriz).

Por lo general es conveniente efectuar el accionamiento a través de engranajes de cambio de velocidad de varios escalones. La sucesión de los escalones de revoluciones que pueden conseguirse mediante cambio de un engranaje, se ha de repartir en la gama de revoluciones exigida, de tal manera que se disponga de un número de revoluciones óptimo (el más favorable) para cada etapa de fabricación o carga de una máquina. La diferencia entre un escalón de revoluciones de un engranaje y el siguiente, se denomina **salto de escalonamiento**. El escalonamiento de los números de revoluciones puede ser en serie aritmética o en serie geométrica.

Revoluciones en serie aritmética

La **serie aritmética** resulta de sumar un **salto de escalonamiento** a constante al número de revoluciones precedente de la serie. Resulta así que cualquier número de revoluciones del engranaje es siempre la media aritmética de los números de revoluciones anterior y posterior. Si se toma un salto de escalonamiento $a = 64$/min, pueden ajustarse con el engranaje los siguientes números de revoluciones $n_1 \ldots n_6$:

33; 97; 161; 225; 289; 353 (por minuto)

Las relaciones entre los valores de trabajo para un cometido de fabricación pueden representarse claramente en un diagrama $v - d$ (diagrama de velocidades-diámetros).

Mediante transposición de términos en la fórmula para la velocidad de corte en el movimiento de rotación

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} \text{ en m/min } (d \text{ en mm, } n \text{ en rpm})$$

resulta el diámetro de una pieza que puede mecanizarse por ejemplo en el torno, con una velocidad de corte rentable dada

$$d = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot n} \text{ en mm.}$$

Para una velocidad de corte $v = 60$ m/min pueden calcularse mediante aplicación de los números de revoluciones $n_1 \ldots n_6$ de la serie aritmética los diámetros de pieza pertenecientes $d_1 \ldots d_6$, siendo estos 580; 197; 119; 85; 66; 54 mm.

El diagrama v-d contiene en el eje horizontal los diámetros de las piezas d (mm) y en el vertical las velocidades de corte posibles v en m/min. Si en el eje para $v = 60$ r/min se representan a escala los diámetros calculados $d_1 \ldots d_6$ y se unen los puntos de intersección con el punto 0 del diagrama, se producen las rectas para los números de revoluciones existentes.

Revoluciones en serie geométrica

La serie geométrica resulta de multiplicar por un salto de escalonamiento q constante el número de revoluciones precedente de la serie. Un número de revoluciones de esta serie es siempre la media geométrica de los números de revoluciones anterior y posterior. Por ejemplo,

$n_1 \ldots n_6$: 33; 54; 86; 138; 220; 353 (por minuto)

El salto de escalonamiento de esta serie es el cociente de dos números de revoluciones sucesivos, por ejemplo

$$q = \frac{54}{33} = \frac{86}{54} = \frac{138}{86} = 1{,}6.$$

Los valores para q están recogidos en la norma DIN 804

$$q = 1{,}12;\ 1{,}25;\ 1{,}4;\ 1{,}6;\ 2.$$

La comparación de los diagramas v-d para revoluciones en serie aritmética y geométrica, muestra que toda la gama de revoluciones en el escalonamiento geométrico está subdividida más uniformemente que en el escalonamiento aritmético. Además, los engranajes escalonados en serie geométrica pueden multiplicarse, es decir, por añadir un juego de ruedas dentadas puede doblarse el número de números de revoluciones que da un engranaje de varios escalones. La nueva serie de números de revoluciones producida está escalonada asimismo geométricamente. La relación de transmisión del engranaje añadido puede elegirse de manera que siga siendo el mismo el salto de escalonamiento entre todos los números de revoluciones dados.

DIAGRAMAS DE CAMBIOS DE VELOCIDADES

Para representar en forma clara y fácilmente comprensible la disposición de las ruedas y el funcionamiento de un cambio de velocidades y la serie de números de revoluciones posibles con él, se utilizan algunas representaciones que facilitan también al proyectista el proyecto y el cálculo de un cambio de velocidades.

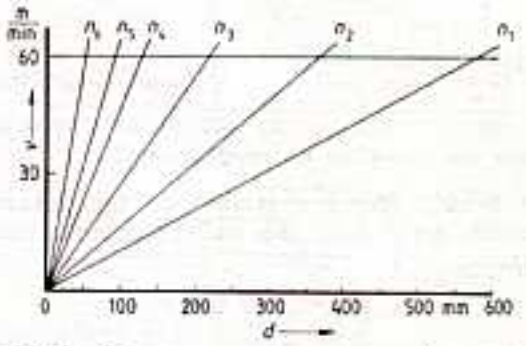


Figura 5-165. Diagrama v-d con escalonamiento de revoluciones en serie geométrica (valores redondeados).

$n_1 =$ 33/min; $d_1 = 580$ mm
$n_2 = n_1 \cdot q =$ 54/min; $d_2 = 354$ mm
$n_3 = n_1 \cdot q^2 =$ 86/min; $d_3 = 222$ mm
$n_4 = n_1 \cdot q^3 =$ 138/min; $d_4 = 139$ mm
$n_5 = n_1 \cdot q^4 =$ 220/min; $d_5 =$ 87 mm
$n_6 = n_1 \cdot q^5 =$ 353/min; $d_6 =$ 54 mm

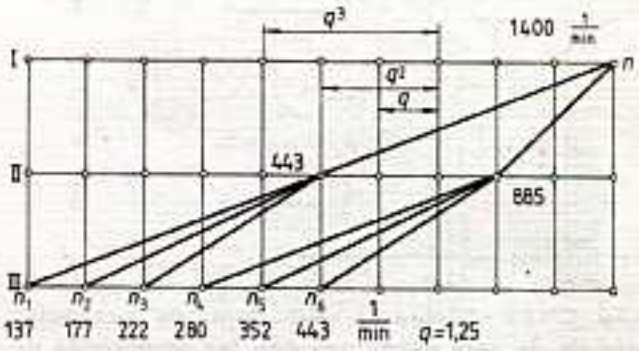


Figura 5-166. Diagrama de revoluciones de un engranaje de ruedas corredizas de seis escalones con tres árboles.



Figura 5-167. Representación de las relaciones de transmisión en el diagrama de revoluciones con división logarítmica.

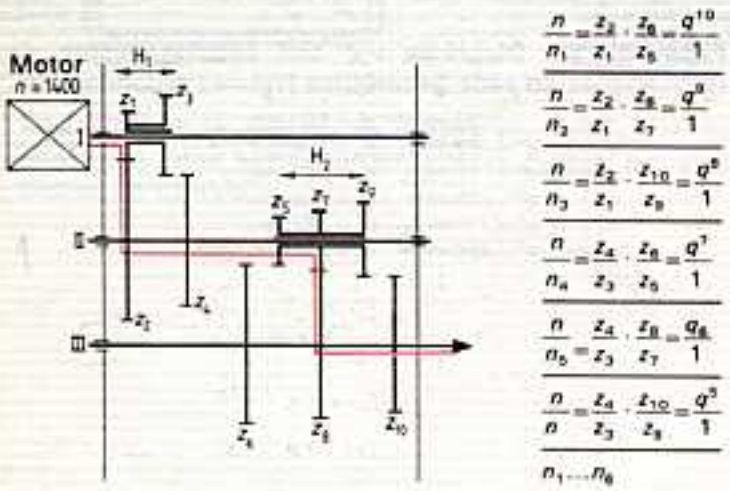


Figura 5-168. Plano del engranaje de seis escalones con las relaciones de transmisión entre los distintos escalones.

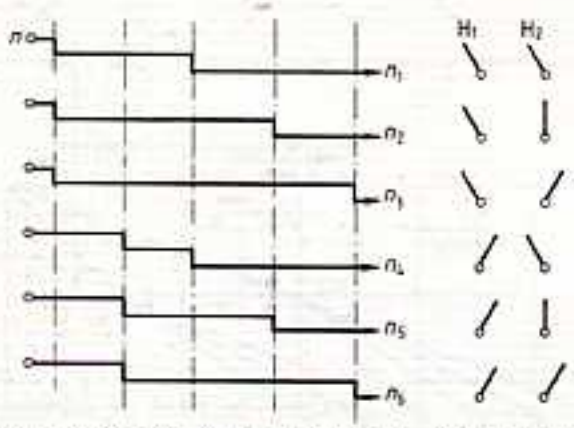


Figura 5-169. Diagrama del flujo de potencia del engranaje de seis escalones con las posiciones de las palancas para seleccionar las relaciones de transmisión.

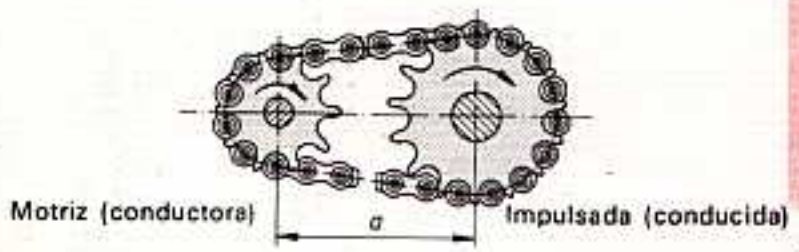


Figura 5-170. Transmisión por cadena.

Diagrama de número de revoluciones (diagrama de Germar)

Es una representación gráfica clara de las relaciones de transmisión, escalones y número de revoluciones de un cambio de velocidades.

Los árboles (I, II, III...) del cambio de velocidades se representan por rectas paralelas con una distancia cualquiera pero igual para todos. Los pares de ruedas que trabajan conjuntamente en los diferentes escalones de cambio se representan por rectas de unión perpendiculares a los ejes de los árboles.

Los puntos de intersección de la estructura reticulada así formada son los puntos de los números de revoluciones. Las distancias de estos puntos se representan como logartitmos de las relaciones de transmisión a una escala cualquiera. A consecuencia de la división logarítmica las distancias de los puntos son iguales entre sí, correspondiendo al salto de escalonamiento *q*.

Las rectas de unión entre dos puntos de número de revoluciones en las rectas de los árboles son las líneas de relación de transmisión. Una relación de transmisión de $i = 1:1$ aparece como recta de unión vertical. Las desmultiplicaciones, por ejemplo $i = 4:1$ o $i = 1{,}6:1$ se representan mediante líneas de unión que transcurren hacia la izquierda, y las multiplicaciones, por ejemplo $i = 1:1{,}6$ o $i = 1:2{,}5$ se representan como rectas de unión que van hacia la derecha. Cuanto más larga sea la recta de relación de transmisión mayor será esta relación. En los cambios de velocidad de máquinas herramienta las multiplicaciones están limitadas a $i = 1:2{,}5$ y las desmultiplicaciones a $i = 4:1$ por escalón. Multiplicaciones mayores producen mucho silbido y desmultiplicaciones mayores necesitan mucho espacio.

Esquema del engranaje

Con ayuda de signos convencionales muestra la constitución de un engranaje y la acción conjunta de sus componentes. No dice nada referente a las particularidades constructivas de estos componentes.

Diagrama del flujo de potencia

Representa los escalones del engranaje que participan en la generación de cada número de revoluciones del mismo. Generalmente se designan los engranajes según su número de árboles y su número de escalones, por ejemplo:

II/4 — un engranaje de **cuatro escalones** con **dos árboles**
III/6 — un engranaje de **seis escalones** con **tres árboles**

5.3.9 Transmisiones

TRANSMISIÓN POR CADENA

Las transmisiones por cadena lo hacen por cierre de forma y por tanto, sin resbalamiento, entre dos árboles separados una distancia que no puede salvarse con ruedas dentadas. Para esto los eslabones de la cadena engranan en los dientes de la rueda de cadena.

La transmisión por cadena se emplea cuando no son apropiados los engranajes de ruedas dentadas a causa de la gran distancia de los

árboles y cuando no pueden utilizarse correas a causa de la humedad, el calor, vapores de aceite y otros, y para distribuciones.

Cadenas

Las **cadenas de rodillos** están recogidas en la norma DIN 8181. Constan de eslabones exteriores y eslabones interiores. Las dos placas de un eslabón interior están unidas a presión con casquillos templados por cementación, que a su vez soportan a rodillos encajados sobre ellos. Los bulones introducidos a presión en las placas de los eslabones exteriores, forman con los casquillos un eslabón de cadena. Los rodillos móviles sobre los casquillos engranan en los huecos de diente de la rueda de cadena, con lo cual durante la marcha del accionamiento se produce fricción de rodadura entre la cadena y la rueda. Para el tamaño de los eslabones de la cadena es decisivo el paso de la cadena p que es la distancia entre los centros de los rodillos.

Se fabrican cadenas de rodillos sencillas y múltiples.

Se emplean **cadenas de dientes** cuando se requiere una marcha tranquila con grandes velocidades periféricas de hasta $v = 20$ m/s, por ejemplo en distribuciones, o cuando se han de transmitir grandes potencias. Las placas guiadoras dispuestas exterior e interiormente impiden que se deslice lateralmente la cadena saliéndose de la rueda que está dotada de las correspondientes estrías guiadoras. Las cadenas de dientes tienen flancos de diente rectos y son más pesadas que las cadenas de rodillos (mayores fuerzas centrífugas).

Ruedas de cadena

La forma básica de las ruedas de cadena es el polígono regular inscrito en el círculo primitivo d que tiene el mismo número de vértices (o lados) que el número z de dientes y cuyo lado es igual al paso p de la cadena.

Con el fin de que la cadena engrane más fácilmente, el ancho de diente disminuye hacia arriba y es un 10% menor que el ancho interior de los eslabones de la cadena.

Son materiales apropiados el acero laminado (cuerpos de rueda torneados a partir de macizo o formados a partir de piezas sueltas soldadas), el acero fundido, el hierro fundido y la chapa de acero (ruedas estampadas).

Montaje de transmisión por cadena

Las ruedas de cadena de una transmisión tienen que estar exactamente alineadas. La distancia entre ejes a más favorable se halla entre $30 \cdot p$ y $50 \cdot p$. Cuando las distancias entre ejes son demasiado grandes las oscilaciones de la cadena pueden compensarse mediante tensores de cadena (carriles de deslizamiento apretados por resortes o ruedas tensoras), que sirven también para retensar la cadena. Se ha de cuidar que tengan siempre suficiente lubricación. Las cadenas motrices se han de renovar cuando, debido a estiramiento y desgaste de las articulaciones, su longitud aumenta aproximadamente el 3%.

TRANSMISIÓN POR CORREA

Las transmisiones por correa lo hacen por cierre de fuerza entre dos árboles.

También con las correas pueden llevarse a cabo relaciones de transmisión. La fuerza de apriete necesaria se produce mediante la tensión de la correa (tensión de alargamiento) al montar la misma.

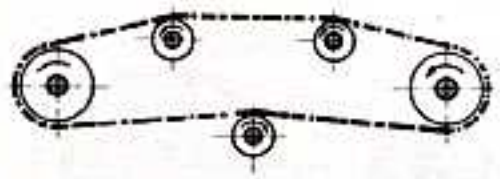


Figura 5-171. Una cadena acciona varias ruedas de cadena simultáneamente.

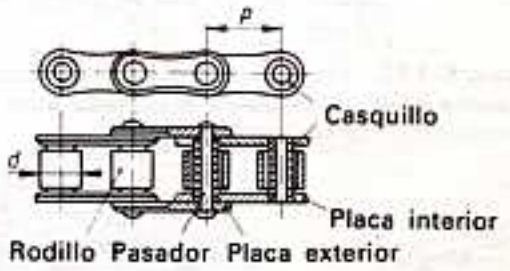


Figura 5-172. Cadena de rodillos simples.

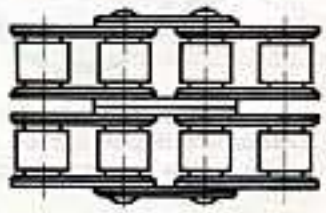


Figura 5-173. Cadena de rodillos dobles.



Figura 5-174. Constitución de una cadena de dientes.

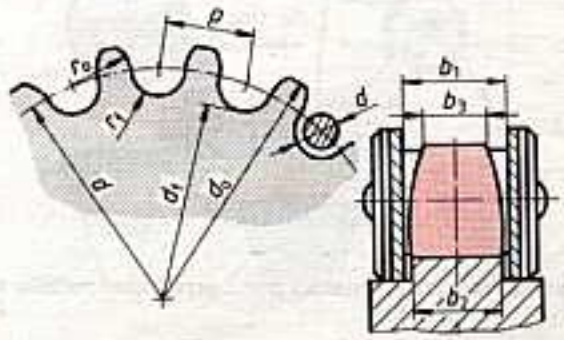


Figura 5-175. Dimensiones principales de una rueda de cadena.

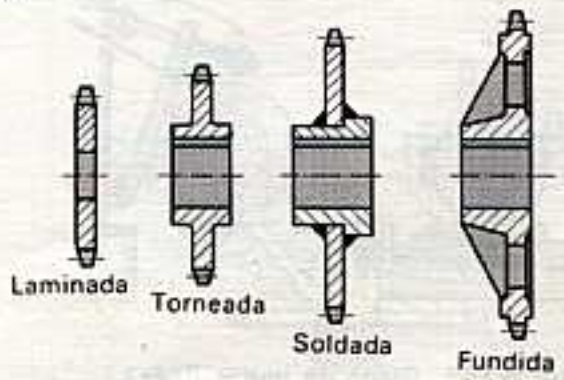


Figura 5-176. Formas de ejecución de ruedas de cadena.

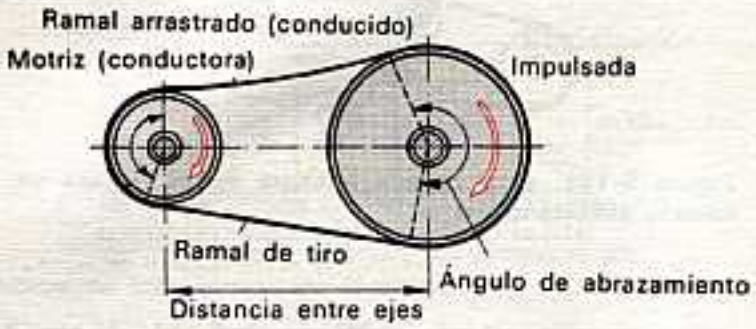


Figura 5-177. Transmisión por correa sencilla.
La polea motriz y la polea accionada giran en el mismo sentido.

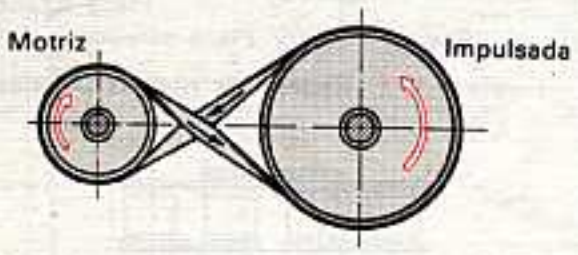


Figura 5-178. Transmisión por correa cruzada.
La polea motriz y la polea accionada giran en sentidos opuestos.

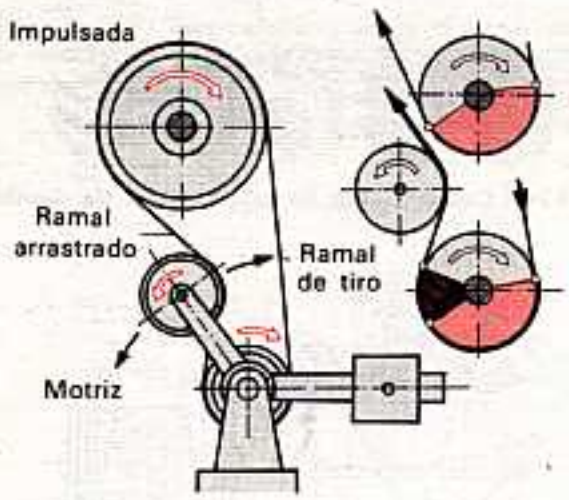


Figura 5-179. Transmisión por correa con rodillo tensor.

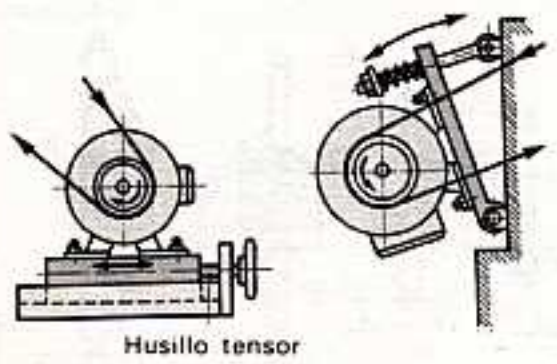


Figura 5-180. Guías de motor. (izda.).
Figura 5-181. Soporte basculante de motor.

Resbalamiento

Dado que la correas en marcha baten un poco sobre las poleas, la fuerza no se transmite necesariamente en forma íntegra. La velocidad periférica de la polea impulsada es siempre menor que la de la correa motriz. Tiene lugar un resbalamiento que depende de la carga, de la velocidad periférica, de los materiales de las correas y de las poleas y del tamaño de las superficies de fricción. El tamaño de las superficies de fricción viene determinado por la anchura de la correa y el ángulo de abrazamiento. El ángulo de abrazamiento depende de la diferencia de diámetros de ambas poleas y de su distancia entre ejes.

Debido al resbalamiento las transmisiones por correa no son apropiadas para accionamientos que tengan que tener una velocidad periférica invariable (accionamientos de distribución) y en los que la correa por motivos de seguridad no deba salir nunca de la polea durante la marcha.

Transmisión por correa plana

Accionamiento en sencillo: Para obtener un ángulo de abrazamiento bastante grande en la polea pequeña, el ramal arrastrado debe quedar arriba, la relación de transmisión *i* no debe sobrepasar 6:1 y la distancia entre ejes no debe quedar por debajo de 1,2 $(d_1 + d_2)$. Las poleas motriz e impulsada giran en el mismo sentido.

Accionamiento cruzado: En este caso se producen ángulos de abrazamiento mayores, pero las correas retorcidas se desgastan más deprisa. Las poleas giran en sentidos opuestos.

Rodillo tensor

Cuando la relación de transmisión supera $i = 6{:}1$, tiene que agrandarse mediante un rodillo tensor el ángulo de abrazamienro en la polea pequeña, sin que varíen el diámetro de las poleas y la distancia entre ejes. Con el fin de que el rodillo cumpla su cometido, éste se ha de disponer en el ramal arrastrado, cerca de la polea pequeña. El rodillo tensor se presiona mediante la fuerza de un muelle o de un peso y se dispone de manera que pueda descargarse la correa cuando se pare la transmisión.

La correa puede tensarse también desplazando el motor de accionamiento sobre unas guías o sobre un soporte basculante.

Materiales de las correas planas

De la piel del lomo del buey (cuero de lomo) se obtienen correas de cuero. Según sea la longitud de las correas, se forman uniendo distintas bandas mediante encolado y cosido. Los elementos de unión para las correas (ganchos de alambre, garras) unen los extremos de la misma entre sí en forma desmontable. Las correas de cuero soportan grandes cargas y son muy elásticas.

Las correas de material fibroso y material sintético se fabrican de una pieza sin fin. Son apropiadas para transmitir fuerzas sin oscilaciones, cuando las poleas son de diámetro pequeño. Como materiales se emplean el algodón, el pelo de camello, la viscosa, el perlón y el nylon.

Las correas combinadas de cuero y material sintético constan de una cinta de rodadura (guarnición de fricción) de cuero curtido al cromo que está firmemente unida con una cinta de tiro de material sintético (perlón) muy solicitable. Estas correas son muy flexibles y pueden transmitir grandes fuerzas.

Poleas para correas planas

Según sea su finalidad estas poleas se fabrican de fundición gris,

acero, metal ligero, material sintético o madera. Las poleas para correas planas están recogidas en la norma DIN 111. Se fabrican con llanta cilíndrica (A) y con llanta abombada (B). La llanta abombada es apropiada para poleas accionadas, porque guía mejor la correa. Para impedir que se produzca demasiado desgaste en la correa, la rugosidad superficial de la llanta tiene que hallarse entre 4 y 10 μm.

Cuando las velocidades de las correas superen $v = 25$ m/s se han de equilibrar estática y dinámicamente las poleas.

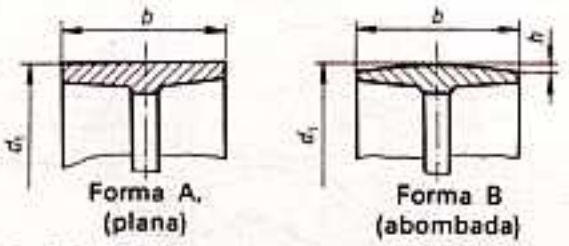


Figura 5-182. Formas de ejecución de poleas de fundición gris para correa plana.

Accionamiento de correa dentada

Las correas dentadas en unión con las ruedas dentadas correspondientes garantizan una transmisión de fuerza sin resbalamiento.

Las correas dentadas son de caucho de alta calidad unido firmemente con un cable de acero empotrado. El cable enrollado en forma helicoidal absorbe las fuerzas de tracción. La fuerza se transmite a través de los flancos de diente. La carga en los flancos puede llegar a 400 N/cm^2. Las ruedas dentadas se fabrican generalmente con módulo 6 ó 10 y alturas de diente de 4 y 4,5 mm.

Como material para las ruedas dentadas son suficientes la fundición gris o el metal ligero, que pueden fabricarse con precisión y calidad superficial suficientes mediante sencilla fundición en arena.

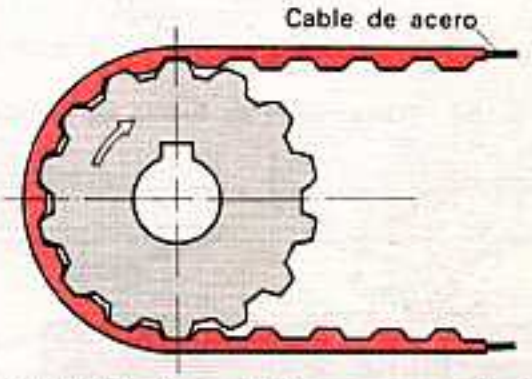


Figura 5-183. Transmisión por correa dentada.

Transmisión por correa trapecial

Las correas trapeciales son correas enterizas (sin fin) de goma fabricadas con sección transversal en forma de trapecio. En sus capas exteriores llevan hilos de tejido vulcanizados que absorben las fuerzas de tracción. Una guarnición de tejido envolvente protege a las correas del desgaste.

Las transmisiones por correa trapecial trabajan exentas casi por completo de resbalamiento, aun con grandes relaciones de transmisión, de hasta $i = 10{:}1$, con poleas de diámetro pequeño y distancias entre ejes pequeñas $a = d_a + 3/2h$ (d_a = diámetro exterior de la polea, h = altura de la correa). La presión en los flancos a consecuencia del efecto de cuña es aproximadamente tres veces mayor que en el caso de una correa plana. Se sale adelante con una menor tensión previa que hace que sea también pequeña la carga en el cojinete. Se transmiten fuerzas mayores si se emplean hasta doce correas dispuestas unas junto a otras en una misma polea.

En las normas DIN 7753 están normalizados perfiles de correas trapeciales con anchos de la parte superior de la correa que van desde $b_0 = 9{,}7$ hasta 22 mm. La norma DIN 2215 determina las longitudes de las correas trapeciales sin fin, y concretamente las longitudes interiores y las longitudes eficaces para cada perfil de correa.

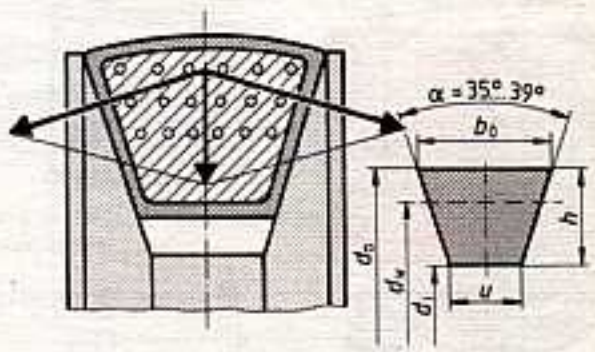


Figura 5-184. Constitución y funcionamiento de una correa trapecial.

Poleas para correas trapeciales

Según la norma DIN 2217 se ejecutan con una o varias gargantas. Los ángulos de las gargantas son $\alpha = 32°$, 34° y 38°, según los diámetros de las poleas (a menor diámetro, menor ángulo).

Las gargantas se han de ejecutar de manera que la correa no sobresalga del canto superior ni se encune tampoco en el fondo de la garganta, ya que entonces la correa pierde su efecto de cuña.



Figura 5-185. Asiento de la correa trapecial en la garganta de la polea.

Montaje de los accionamientos por correa

Cuando se montan las poleas en el árbol se ha de cuidar que la polea no quede cruzada en el mismo y que se una perfectamente con la

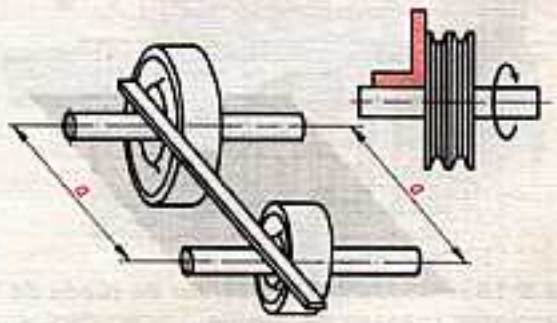


Figura 5-186. Montaje de una transmisión por correa.

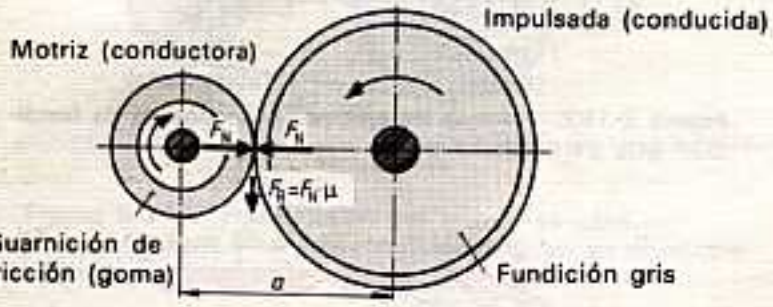


Figura 5-187. Transmisión de fuerza en las ruedas de fricción.

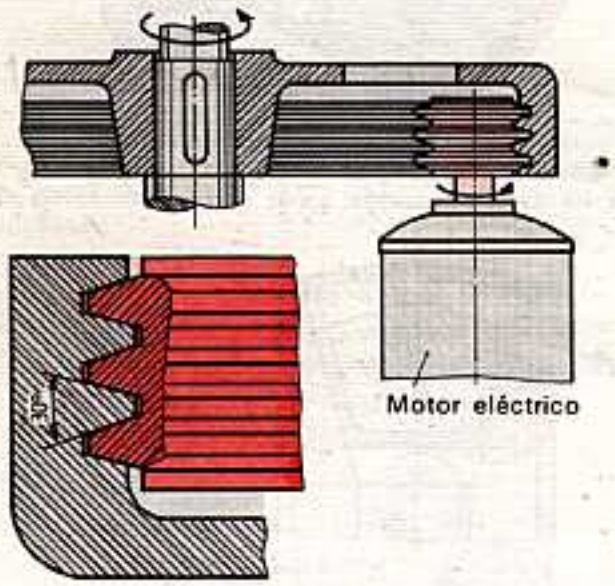


Figura 5-188. Accionamiento de fricción de rueda trapecial.
A causa de la inclinación de los flancos y las superficies de fricción más grandes resulta más pequeña la fuerza de apriete.

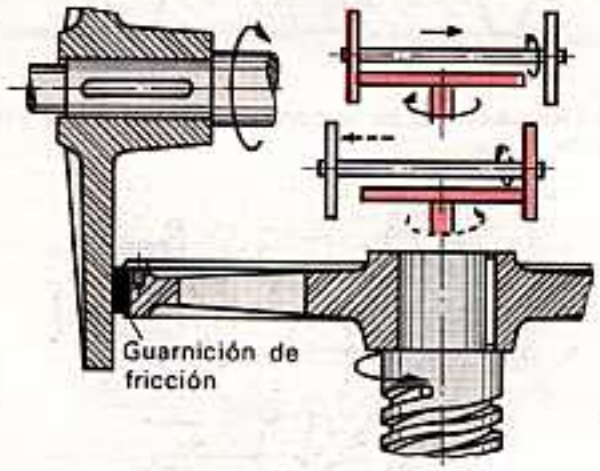


Figura 5-189. Mecanismo inversor de rueda de fricción para accionar prensas de husillo.

chaveta. Si el montaje se realiza incorrectamente la polea se tambalea. Las poleas motriz y accionada tienen que estar exactamente alineadas, lo cual puede verificarse apoyando una regla en las caras de las poleas, y en el caso de distancias largas entre ejes un cordón tensado. Los árboles de ambas poleas tienen que hallarse exactamente paralelos y en un mismo plano.

ACCIONAMIENTOS POR RUEDA DE FRICCIÓN

Transmiten el momento de giro por fricción entre dos árboles paralelos o que se cruzan, a una pequeña distancia.

Los accionamientos por rueda de fricción son especialmente convenientes cuando deban transmitirse grandes velocidades periféricas y sea necesario cambiar el número de revoluciones y modificar el sentido de rotación durante el funcionamiento. Los accionamientos por rueda de fricción son silenciosos y sin sacudidas. La relación de transmisión *i* entre la rueda motriz y la accionada no es constante, ya que durante la transmisión de fuerzas se produce un **resbalamiento.**

Transmisión de fuerza

En los accionamientos por rueda de fricción se presionan una contra otra dos ruedas de periferia lisa mediante la fuerza de apriete F_N (F_N = Fuerza normal perpendicular a la tangente en el punto de contacto). Esta fuerza produce en las superficies de las ruedas la fuerza tangencial F_R (fuerza de rozamiento). Su magnitud depende de F_N y del coeficiente de rozamiento μ entre las superficies de fricción que trabajan conjuntamente:

$$F_R = F_N \cdot \mu \quad \text{en N}$$

Para conseguir condiciones de fricción favorables, una de las ruedas se recubre con una guarnición de fricción de material sintético, goma o cuero. Cuando las cargas son pequeñas las guarniciones de goma se fijan elásticamente sobre las ruedas, y en caso de cargas grandes se vulcanizan. En el caso de cargas grandes se requieren inclusiones de alambre de acero en la guarnición de fricción. Con el fin de que se disipe mejor el calor de fricción producido por la transmisión de fuerza, se ponen varios anillos de fricción estrechos unos junto a otros dejando espacios intermedios.

La contrarrueda se fabrica de fundición gris o de acero, a ser posible con superficie rectificada.

La magnitud del coeficiente de rozamiento depende del tipo de guarnición de fricción.

Coeficientes de rozamiento μ entre	
Material sintético y fundición gris	0,3...0,4
Cuero y fundición gris	0,2...0,3
Goma y fundición gris	0,7...0,8

Las ruedas de fricción se ejecutan cilíndricas (fuerza de apriete grande), cónicas o como accionamiento de rueda trapecial. Se emplean accionamientos por rueda trapecial en máquinas herramienta, güinches, prensas de husillo y en la regulación de revoluciones sin escalonamiento.

Ventajas e inconvenientes de los accionamientos por rueda de fricción

Ventajas: Es posible la regulación de velocidad sin escalonamiento, construcción sencilla, menor distancia entre ejes, alto rendimiento (0,85 a 0,9), poco gasto de mantenimiento, silenciosos.

Inconvenientes: Resbalamiento , desgaste de las superficies de fricción, potencia limitada (400 kW), velocidad periférica limitada, cojinetes fuertes a causa de las altas fuerzas de apriete.

Montaje de los accionamientos por rueda de fricción

Las ruedas de fricción se fijan en los árboles con ajuste indeterminado o a presión en unión con una chaveta. Con el fin de que se produzcan condiciones de fricción favorables y que no se desgasten las guarniciones de fricción sólo por un lado, los ejes tienen que estar alineados exactamente paralelos entre sí.

5.3.10 Variadores de velocidad sin escalones

VARIACIÓN CONTINUA DEL NÚMERO DE REVOLUCIONES

En los mecanismos de cambio de velocidades escalonados el número de revoluciones de una máquina de trabajo sólo puede modificarse escalonadamente. El cambio de un escalón (número de revoluciones) a otro, condiciona una pérdida de tiempo para detener, cambiar y poner de nuevo en marcha la máquina. Con los mecanismos de cambio de velocidades escalonados tampoco puede aprovecharse rentablemente una máquina en todas las zonas de trabajo. Por ejemplo, si debe refrentarse con velocidad de corte constante de 100 m/min una pieza circular de $D = 500$ mm y $d = 100$ mm, el número de revoluciones del husillo de trabajo tendría que ir aumentando según la fórmula

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}$$

desde $n_1 = 64$/min a $n_2 = 320$/min, o sea de cinco veces. Al contrario, un número de revoluciones constante haría variar las condiciones de corte y con ello varía la calidad de superficie de la pieza.

Si se tomase la velocidad de corte en el diámetro medio $d_m =$ 300 mm, resultarían velocidades de corte excesivas en la zona de trabajo situada por encima, que reducirían el tiempo de duración de la herramienta.

Los variadores de velocidad sin escalonamiento eliminan estos inconvenientes. Funcionan suavemente y sin oscilaciones y pueden prepararse para accionamientos que se adapten automáticamente a condiciones de trabajo dadas (escalones de carga). Con los variadores de velocidad sin escalonamiento pueden transmitirse potencias de hasta 150 kW con un campo de regulación que va desde 1:3 hasta 1:10.

VARIADORES DE VELOCIDAD MECÁNICOS

El **variador de velocidad PIV** es un mecanismo enteramente mecánico. Sus dos pares de discos cónicos provistos de un dentado especial muy bajo, se unen con una cadena de láminas sin fin, para reali-

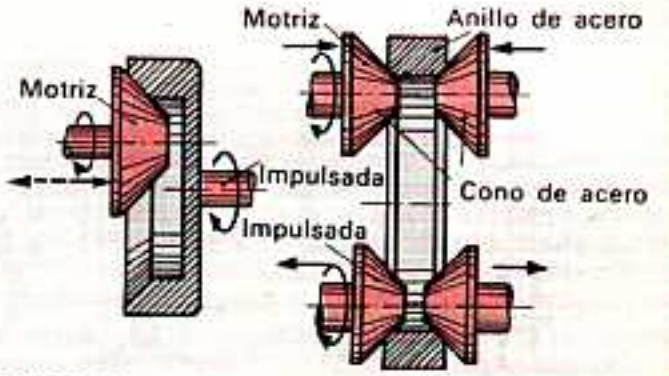


Figura 5-190. Mecanismo de ruedas de fricción cónicas para la regulación continua del número de revoluciones.

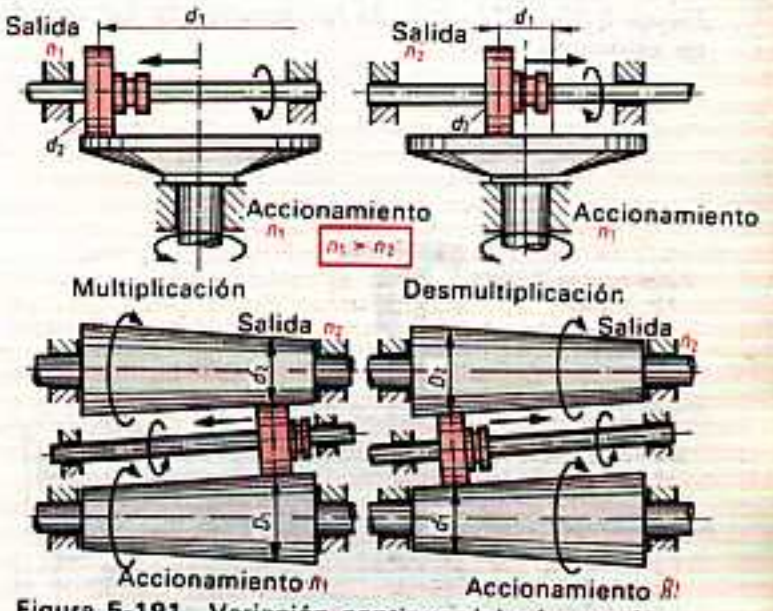


Figura 5-191. Variación continua del número de revoluciones.

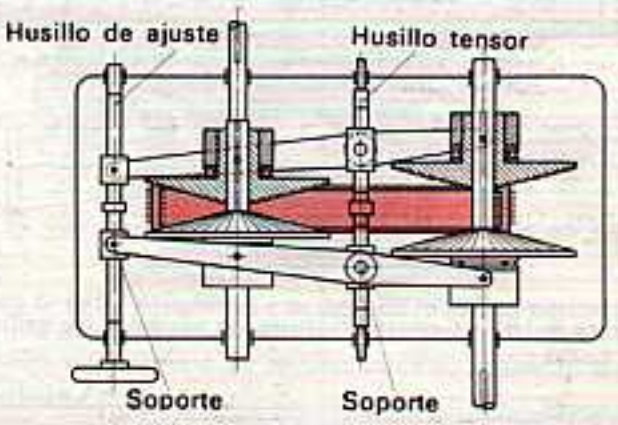


Figura 5-192. Constitución de un variador de velocidad PIV.

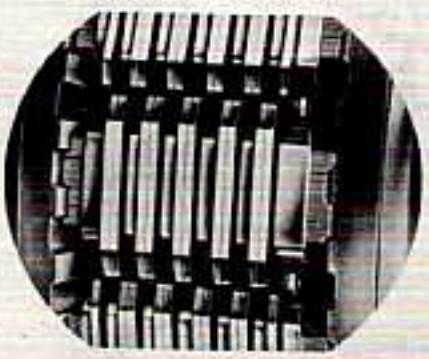


Figura 5-193. Constitución de la cadena de láminas.

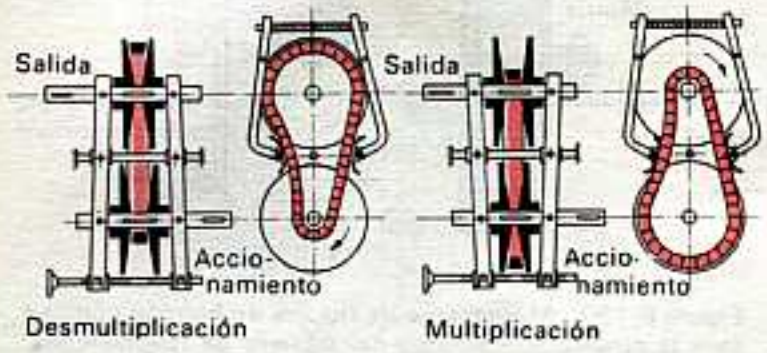


Figura 5-194. Principio de funcionamiento del variador de velocidad PIV.

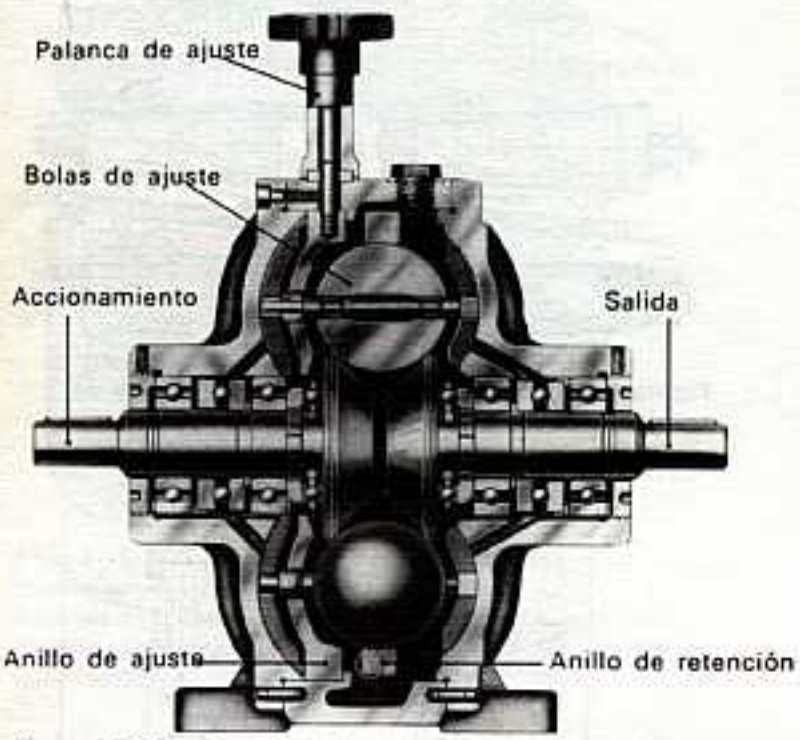


Figura 5-195. Constitución de un variador de velocidad de bolas.

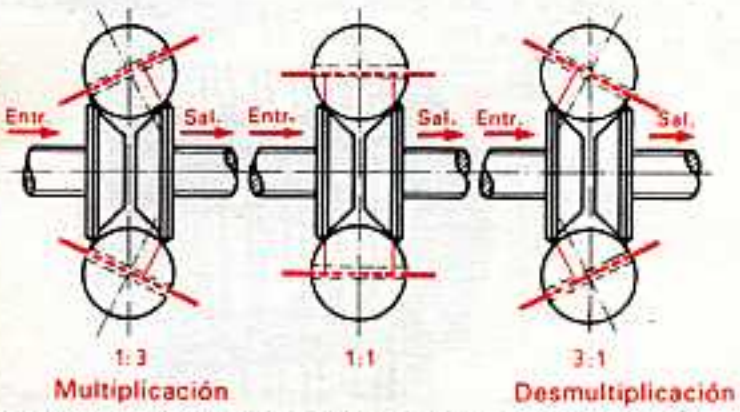


Figura 5-196. Principio de funcionamiento del variador de velocidad de bolas.

zar la transmisión de fuerza. Las láminas de la cadena están dispuestas de forma que pueden desplazarse ligeramente en dirección transversal a la dirección de marcha. Debido a esto pueden adaptarse fácilmente al paso de los dientes que varía con el diámetro del círculo de rodadura. Las láminas que al entrar la cadena tropiezan en un diente de uno de los discos, son desplazadas por éste forzosamente a un hueco de diente del disco contrario del par. Debido a esto la fuerza se transmite por **cierre de forma** y por lo tanto sin resbalamiento. Dado que siempre hay varios flancos de diente engranados, el desgaste se limita a un mínimo.

Las palancas de mando del variador de velocidad están alojadas en forma basculante sobre los soportes de cojinete del **husillo tensor** (variación de la tensión de la cadena). Un extremo libre de cada palanca de mando tiene casquillos roscados dispuestos articuladamente, que se enroscan en roscas a derechas y a izquierdas del **husillo de regulación.** Cuando se hace girar el husillo de regulación los dos pares de discos cónicos se desplazan en contrasentido, correspondientemente a la relación de transmisión deseada.

Para indicar el número de revoluciones una de las roscas del husillo de regulación está unida con un indicador a través de una rueda helicoidal.

El **variador de bolas Wülfel-Kopp** se asemeja en su construcción a un rodamiento de bolas. Los árboles de accionamiento y de salida están alineados en el centro del mecanismo; cada uno de los extremos interiores de los árboles lleva un disco cónico. Estos dos discos se unen uno con otro por cierre de fuerza por medio de tres a ocho **bolas de ajuste,** conforme al tamaño del variador, distribuidas equidistantes en su periferia. Un **anillo de sujeción** que gira conjuntamente y sirve también como anillo de engrase, presiona las bolas contra los discos cónicos.

Las bolas de ajuste están alojadas en forma rotativa en ejes que pueden bascular pero no giran alrededor de los árboles. Estos ejes basculantes se guían con cuadradillos que hay en sus dos extremos en ranuras que transcurren radialmente en las tapas de la carcasa. Los ejes tienen a la izquierda resaltos esféricos que engranan en ranuras de leva del **anillo de ajuste** alojados en la carcasa de forma que pueden girar alrededor de su eje horizontal. Mediante la forma de estas levas de mando los extremos de los ejes basculantes se desplazan radialmente girándose con ello alrededor del centro de la bola, cuando se acciona **la palanca de ajuste.**

En la **transmisión PK** el lado motor tiene un cono. Este cono va montado en el árbol del inducido de un motor eléctrico y puede moverse axialmente en vaivén para efectuar el ajuste del número de revoluciones. El **cono de accionamiento** entra en el **anillo de rodadura** que está unido con una **rueda planetaria.** Esta rueda planetaria engrana en una **rueda central** que ajusta en el árbol de accionamiento. La rueda planetaria y la rueda central giran en una carcasa oscilante que puede efectuar un movimiento pendular alrededor del eje de accionamiento. El cono de accionamiento, el anillo de rodadura y la rueda planetaria giran en el mismo sentido. Cuando se pone en marcha el motor el propio peso de la carcasa oscilante situada oblicuamente, es suficiente para iniciar el flujo de fuerza. Este flujo de fuerza se transmite a través del cono de accionamiento y del anillo de rodadura a la rueda central grande. La presión de los dientes entre ambas ruedas dentadas ejerce retroactivamente una fuerza F_R sobre la carcasa oscilante que repercute entre el cono de accionamiento y el anillo de rodadura como fuerza de apriete F_N (fuerza perpendicular para producir el cierre de fuerza), que produce la fricción necesaria para la transmisión de fuerzas. La carcasa oscilante actúa como una báscula que regula la fuerza de aprieto

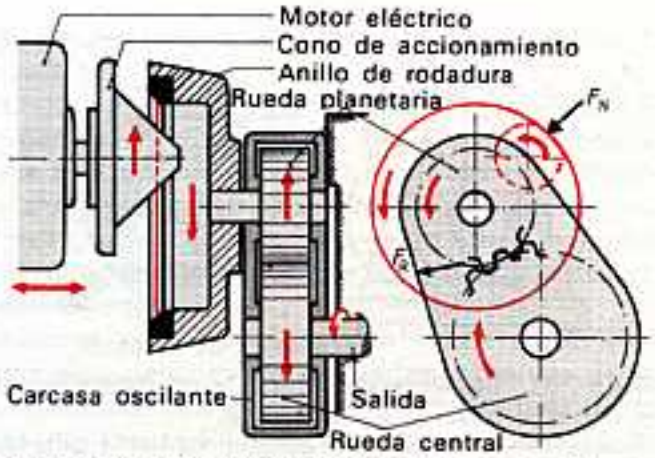


Figura 5-197. Constitución y funcionamiento de la transmisión PK.

mediante la fuerza de reacción según el momento de giro a entregar, aunque la carga sea intermitente.

La carcasa oscilante no participa directamente en el proceso de regulación, sino que produce el cierre de forma en unión con la rueda planetaria y la rueda central. En este variador de velocidad la relación de palanca entre el radio del anillo de rodadura y el de la rueda planetaria, se ha elegido de manera que esté asegurado el cierre de forma hasta la punta del cono, teniéndose en cuenta el coeficiente de rozamiento entre el cono y el anillo de rodadura.

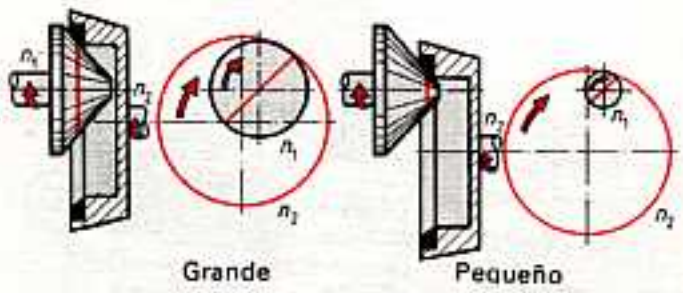


Figura 5-198. Principio de regulación de la transmisión PK.

5.3.11 Equilibrado

ACCIÓN DE LA FUERZA CENTRÍFUGA

Un estribo giratorio alrededor de su eje vertical tiene un vástago guía en el que se encuentran dos masas m_1, m_2 desplazables. Se puede distinguir varios casos:

1. Las dos masas m_1, m_2 son iguales, la distancia r_2 es mayor que r_1, el centro de gravedad G del conjunto no se halla en el eje de rotación. Cuando el estribo gira m_2 tira de m_1 hacia fuera. La masa m_2 produce una fuerza centrífuga mayor que m_1 a causa de su mayor distancia al centro (radio de la trayectoria).
2. La masa m_2 es mayor que m_1. Las distancias r_1, r_2 desde el eje de rotación son iguales. El centro de gravedad G no se halla en el eje de rotación sino que se halla más cerca de la masa m_2 más grande. Cuando el estribo gira m_2 tira de la masa m_1 hacia afuera.
3. Las dos masas m_1, m_2 son iguales y están a la misma distancia $r_1 = r_2$ del eje de rotación. Así pues también el centro de gravedad G del conjunto de ambas masas se halla en el eje de rotación. Cuando el estribo gira las dos masas mantienen su situación, con independencia del número de revoluciones. Las fuerzas centrífugas producidas son iguales y dirigidas en sentido contrario; se anulan (neutralizan) y quedan en equilibrio.

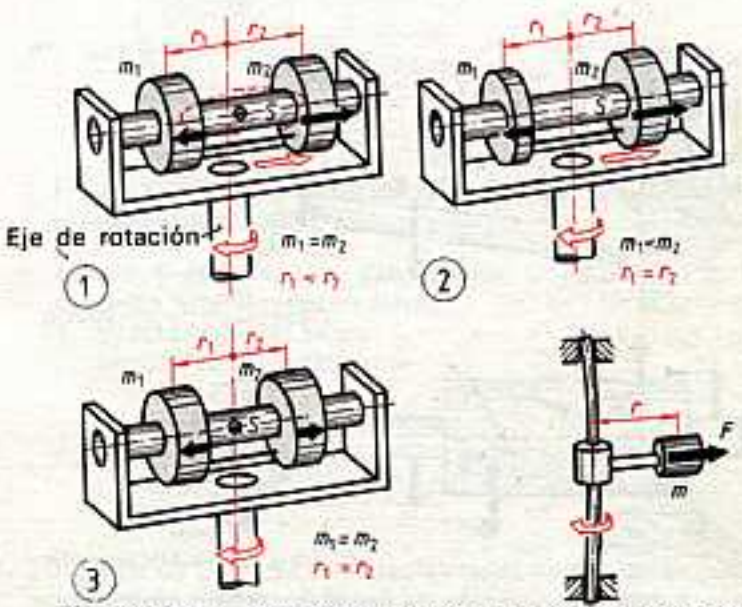


Figura 5-199. Magnitud y acción de la fuerza centrífuga. Con una masa desequilibrada m a la distancia r del eje de rotación, con número de revoluciones n, resulta la fuerza centrífuga F:

m en g	r en mm	n en 1/min	F en N	Fuerza centrífuga
1	250	3000	25	$F = \frac{m \cdot v^2}{r}$
10	250	3000	250	
1	250	6000	250	
10	250	6000	2500	

El desequilibrio en las piezas de máquinas

Cuando el centro de gravedad del conjunto de masas rotativas no coincide con su eje de rotación, se perturba el equilibrio debido a las fuerzas centrífugas que actúan unilateralmente. Esta perturbación del equilibrio recibe el nombre de **desequilibrio**.

Los desequilibrios solicitan a las piezas rotativas de máquina. Provocan fuerzas de flexión adicionales y con ello cargas en los cojinetes; producen oscilaciones y ruidos y dan lugar a la fatiga pre-

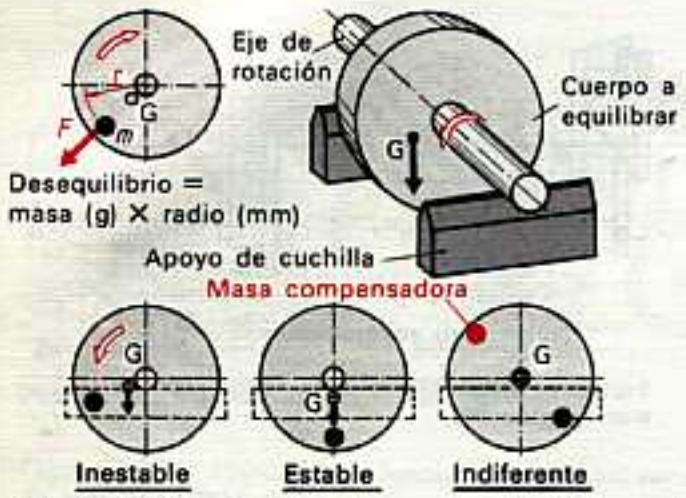


Figura 5-200. Generación y compensación del desequilibrio estático.
La masa excesiva *m* sin compensar en el radio *r* traslada el centro de gravedad G y produce en el disco rotativo la fuerza centrífuga *F*. El desequilibrio es el producto de la masa desequilibrada en gramos por el radio en milímetros. Unidad: gmm.
El desequilibrio se elimina aplicando una masa compensadora.

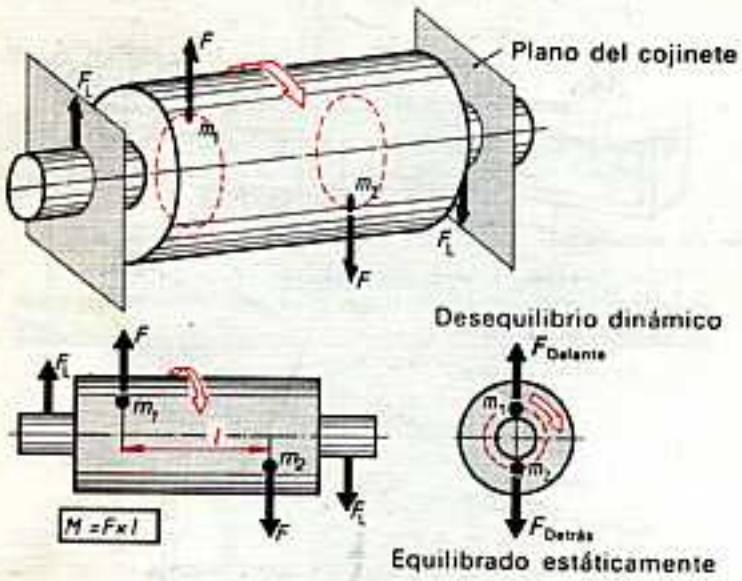


Figura 5-202. Generación de un desequilibrio dinámico.

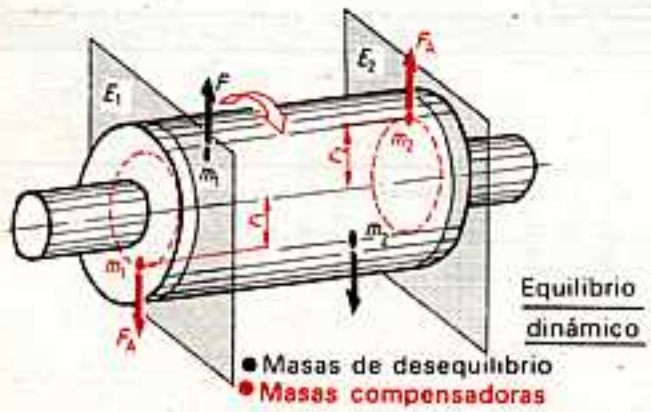


Figura 5-203. Compensación del desequilibrio dinámico mediante aplicación de masas compensadoras.

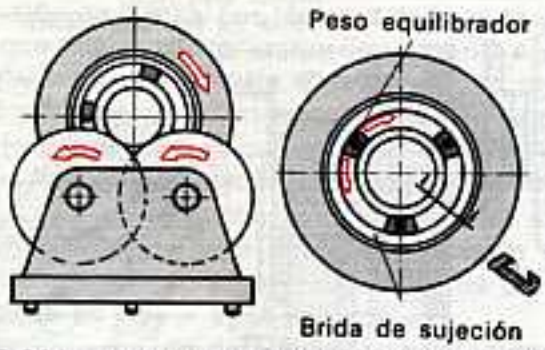


Figura 5-201. Equilibrado estático de una muela de rectificar con una báscula equilibradora.
El desequilibrio existente se elimina mediante desplazamiento de las masas equilibradoras.

matura de los materiales. Pueden producirse desequilibrios en ruedas dentadas, poleas, árboles, acoplamientos y volantes, debidos a defectos de fundición (rechupes) mecanizado impreciso, errores de montaje o desgaste unilateral.

En las piezas de máquinas que funcionan con alto número de revoluciones, tienen que determinarse por tanto la **situación** y la **magnitud** del desequilibrio y eliminarse mediante equilibrado.

DESEQUILIBRIO ESTÁTICO

Hay desequilibrio estático cuando el centro de gravedad *G* de una pieza de máquina en forma de disco (de pequeño espesor) no se halla en el eje de rotación. La pieza a verificar se pone con un mandril adaptado a ella sin holgura, sobre una báscula equilibradora o sobre dos apoyos de cuchilla. La pieza y el mandril girarán hasta que el centro de gravedad se halle exactamente debajo del eje de rotación, es decir hasta que el cuerpo ha adoptado su situación de equilibrio estable.

El desequilibrio se elimina mediante taladrado, cincelado o fresado en el lado del desequilibrio o mediante aplicación de una masa equilibradora en el lado contrario. La pieza tiene que permanecer en reposo en cualquier situación (equilibrio indiferente).

DESEQUILIBRIO DINÁMICO

Aparece desequilibrio dinámico cuando piezas de máquinas cilíndricas (grandes longitudes), incluidos cigüeñales, provocan a alto número de revoluciones fuerzas centrífugas que con su momento de giro $M = F \cdot l$ tratan de que el cuerpo gire saliéndose de su posición en el eje. Una pieza de máquina de este tipo puede no presentar desequilibrio estático; el momento de giro no actúa hasta que aumenta el número de revoluciones (mayor fuerza centrífuga). La **situación** y **magnitud** de un desequilibrio dinámico se averigua con una máquina equilibradora, con el número de revoluciones que tenga la pieza a verificar cuando se emplea en la máquina (número de revoluciones de funcionamiento).

El desequilibrio se elimina mediante aplicación de masas equilibradoras o quitando material. Pueden fijarse arbitrariamente las distancias de los puntos en los que se añade o quita material, y las posiciones de los planos de equilibrado.

Funcionamiento de una máquina equilibradora dinámica

Con la máquina equilibradora se determina para dos planos de equi-

librado E_1, E_2 la posición y la magnitud de las masas equilibradoras, necesarias para eliminar el desequilibrio.

La magnitud de medición F_L se produce en los planos de los cojinetes L_1, L_2 del cuerpo a equilibrar. Las fuerzas de cojinete provocadas por las fuerzas centrífugas, se transforman en una tensión eléctrica por medio de **cajas dinamométricas** con **elementos piezoeléctricos** (piezo, del griego = yo aprieto). La corriente se indica mediante un instrumento de medición cuya escala está graduada en masas desequilibradas.

Los elementos piezoeléctricos que sirven como dinamómetro son cerámicas especiales sintéticas, independientes de la temperatura y de la humedad, con elasticidad extraordinariamente baja (independientes del recorrido). Pueden soportar grandes fuerzas y la tensión que producen es proporcional a la fuerza que actúa sobre ellas.

Para calcular las masas equilibradoras m_1, m_2, que se han de poner en los planos de equilibrado E_1, E_2, partiendo de las fuerzas que actúan en los planos de los cojinetes L_1, L_2, se han de tener en cuenta los brazos de palanca *a, b, c* que actúan entre los planos. Con ayuda de una disposición eléctrica se separan uno de otro los planos de equilibrado. Se indica solamente el desequilibrio que actúa en cada plano individual.

Mediante ajuste del mando giratorio para los radios de equilibrado elegidos 4_1, r_2, se logra que aparezcan en el indicador (instrumento de medición 1) las masas m_1, m_2 de los desequilibrios para los planos E_1, E_2.

Para averiguar la situación del desequilibrio se hace girar la rueda de mano (4) hasta que el instrumento indicador del cero (2) esté a cero estando la máquina en marcha. A continuación se lee el ángulo en la escala de ángulos (5) y con ayuda de la escala (6) se transmite al cuerpo a equilibrar, para caracterizar el desequilibrio, estando la máquina parada. Con (3) se designa el selector para los planos de equilibrado y (7) es una escala para fijar la situación de los planos de equilibrado E_1, E_2.

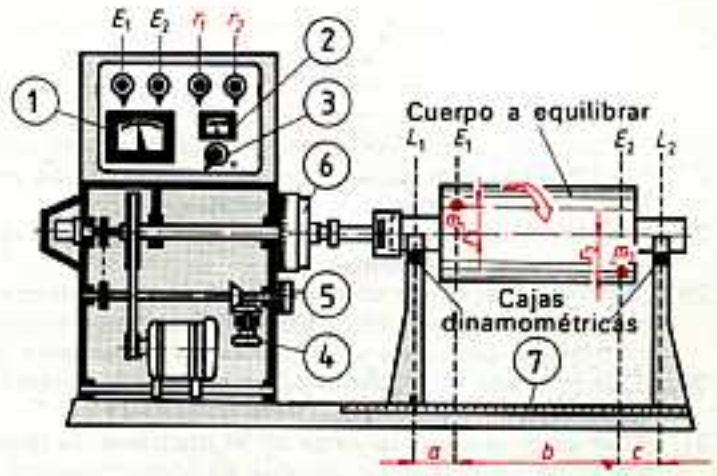


Figura 5-204. Constitución y funcionamiento de una máquina equilibradora dinámica.

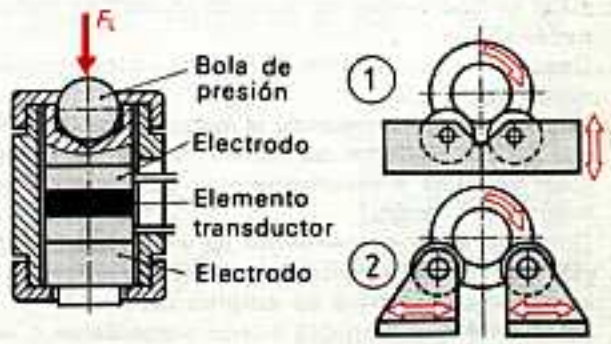


Figura 5-205. Constitución de una caja dinamométrica piezoeléctrica. (izda.).

Figura 5-206. Apoyo del cuerpo a equilibrar en la máquina equilibradora. (dcha.).
1. Desplazable en altura
2. Desplazable lateralmente

Ejercicios

Piezas de máquinas

Ruedas dentadas

1. ¿Qué cometidos tienen las ruedas dentadas?
2. ¿Qué ventajas tienen las ruedas dentadas con dentado de evolvente?
3. ¿Cómo puede imaginarse la producción de un flanco de diente?
4. Describir las dimensiones de una rueda dentada.
5. ¿Qué importancia tiene el valor «módulo»?
6. ¿Mediante qué procedimientos pueden fabricarse dentados?
7. Describir el fresado por generación.
8. Describir el mortajado por generación.
9. ¿Qué ventajas e inconvenientes tienen las ruedas cilíndricas con dentado oblícuo?
10. ¿Qué particularidades tienen las ruedas cilíndricas con dentado helicoidal?
11. ¿Qué ventajas tienen las ruedas de diente oblícuo dobles y las ruedas dentadas en flecha o V en relación al efecto de fuerza axial?
12. ¿Cuándo se emplean engranajes con dentado interior?
13. ¿Qué se ha de observar especialmente cuando se montan engranajes de ruedas cilíndricas?
14. ¿Qué tipo de dentado es especialmente ventajoso en los engranajes de ruedas cónicas?
15. Describir la posición y forma de la superficie portante o sustentadora en los engranajes de ruedas cónicas con dentado curvo o en arco.
16. ¿Qué propiedades especiales tienen los engranajes de tornillo sin fin?
17. ¿Qué se ha de observar cuando se monta un engranaje de tornillo sin fin?
18. ¿Por qué tienen autorretención los engranajes de tornillo sin fin?
19. ¿Por qué razón se fabrica la rueda helicoidal de hierro fundido o de aleaciones de cobre?
20. Explicar las posibilidades de realizar grandes relaciones de transmisión en los engranajes de tornillo sin fin.

Engranajes y transmisiones

21. ¿Qué cometidos pueden realizarse con un engranaje variable escalonadamente?
22. Describir el funcionamiento de un engranaje de corazón de inversión.

23. ¿Para qué se emplean los engranajes de cambio de ruedas?
24. ¿Cómo funcionan los engranajes de ruedas corredizas?
25. ¿Por qué medios de cambio se desplazan las ruedas corredizas?
26. ¿Cómo está constituido un engranaje de rueda oscilante?
27. Establecer la diferencia entre escalonamiento de revoluciones en serie aritmética y geométrica.
28. ¿En qué consiste la ventaja del escalonamiento de revoluciones en serie geométrica?
29. ¿Cómo se reconocen en el esquema de revoluciones de Germar las multiplicaciones, desmultiplicaciones, relaciones de transmisión pequeñas y relaciones de transmisión grandes?
30. ¿Qué contiene el esquema de un engranaje variable escalonadamente?
31. ¿Qué es lo que puede verse en el diagrama de flujo de potencia de un engranaje variable escalonadamente?
32. ¿Qué campos de aplicación especiales tienen las transmisiones por cadena?
33. Establecer la diferencia existente en la construcción y empleo de las cadenas de rodillos y las cadenas de dientes.
34. ¿Qué se ha de observar cuando se montan transmisiones por cadena?
35. Describir la transmisión de fuerzas en los accionamientos por rueda de fricción.
36. ¿De qué factores depende la magnitud de la fuerza tangencial que puede transmitirse en las ruedas de fricción?
37. Citar ventajas e inconvenientes de los accionamientos por rueda de fricción.
38. Describir el funcionamiento de una transmisión por correa.
39. ¿Qué es lo que resulta del «resbalamiento» de una transmisión por correa para su empleo práctico?
40. ¿Mediante qué medidas puede aumentarse o mantenerse la tensión de las correas?
41. ¿Qué ventajas tiene la transmisión por correa trapecial y la transmisión por correa dentada respecto a la correa plana?
42. ¿Cómo debe encajar la correa trapecial en la garganta de la polea?
43. ¿Qué se ha de observar cuando se montan transmisiones por correa?
44. ¿Qué ventajas e inconvenientes tienen los variadores de velocidad sin escalonamiento?
45. Describir la constitución y el funcionamiento de un variador de velocidad PIV.
46. ¿Por medio de qué medidas la cadena de láminas del variador de velocidad PIV actúa por cierre de forma, o sea sin resbalamiento?
47. Describir el funcionamiento de un variador de velocidad de bolas.
48. ¿Por medio de qué medida constructiva se presiona el anillo de rodadura de un accionamiento PK al cono de accionamiento?

Equilibrado

49. Describir el efecto de la fuerza centrífuga.
50. ¿Qué relación existe entre velocidad periférica y fuerza centrífuga?
51. ¿Qué consecuencias tiene un desequilibrio de las piezas rotativas de máquina?
52. ¿Cómo puede determinarse de modo sencillo en el taller la situación de un desequilibrio?
53. Establecer la diferencia entre desequilibrio estático y desequilibrio dinámico.
54. ¿Mediante qué medida se compensa el desequilibrio?
55. Describir el funcionamiento de una máquina equilibradora dinámica.

6 Electrotecnia

6.1 La electricidad como forma de energía

6.1.1 El circuito eléctrico

PERCEPCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Para la electricidad no disponemos de un órgano sensorial especial. Es una forma de energía, como la energía mecánica o calorífica, y se percibe en las transformaciones energéticas.

La electricidad sólo es perceptible por sus efectos.

En el horno eléctrico, la energía eléctrica se transforma en calor; en una bombilla, se transforma en luz y calor. El motor eléctrico realiza trabajo mecánico, en el electroimán se manifiestan efectos magnéticos.

Son portadores de cargas eléctricas los protones, electrones y iones.

El protón y el electrón son componentes del átomo y están cargados con una determinada cantidad de electricidad. La carga eléctrica del protón se toma como carga elemental positiva (+); la del electrón como carga elemental negativa (−). El átomo es neutro hacia el exterior desde el punto de vista eléctrico, pues tiene el mismo número de cargas positivas que negativas.

Los iones son átomos o moléculas con más o menos electrones de los que tienen en estado normal. Por lo tanto, pueden poseer carga positiva o negativa.

Los metales liberan los pocos electrones de su capa exterior, que pueden moverse con libertad por la estructura del metal. Ante la influencia de una energía exterior, pueden salir, incluso, de esa estructura. Los electrones que en tal caso circulan por un conductor forman la corriente eléctrica.

La acumulación de cargas elementales se designa como cantidad de electricidad o carga eléctrica (símbolo, Q). Su unidad es 1 culombio = 1 amperio × segundo (1 As). Ejemplo: 1 Q = 1 As. 1 As = $6{,}24 \cdot 10^{18}$ (6,24 trillones) de cargas elementales.

Las denominaciones de tensión, intensidad, resistencia y conductor se deducen por analogía mecánica.

Una **bomba hidráulica** crea, al aportar energía, una diferencia de presión o **tensión** entre el lado de entrada y el de salida, que provoca una **corriente** hidrodinámica a través del tubo **conductor**. Este es portador de una energía mecánica y puede impulsar un motor hidráulico. El **generador** eléctrico, al aportar energía, crea una **tensión** eléctrica o diferencia de potencial entre sus bornas, que provoca una intensidad o **corriente** de electrones a través del **conductor**. Este es portador de una energía eléctrica y puede impulsar un

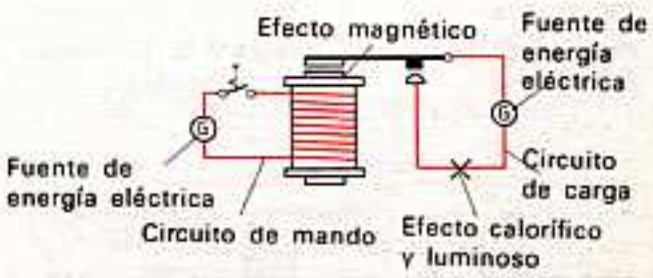


Figura 6-1. Efectos de la energía eléctrica.

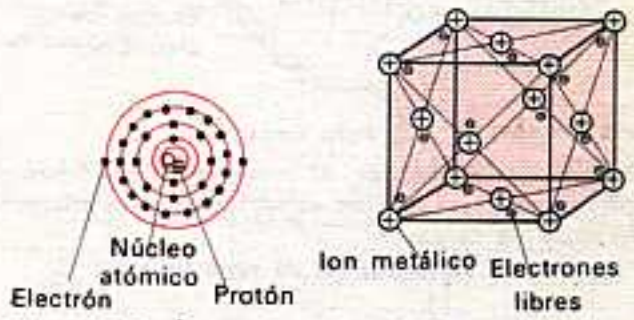


Figura 6-2. Átomo de cobre. Cristal de cobre.

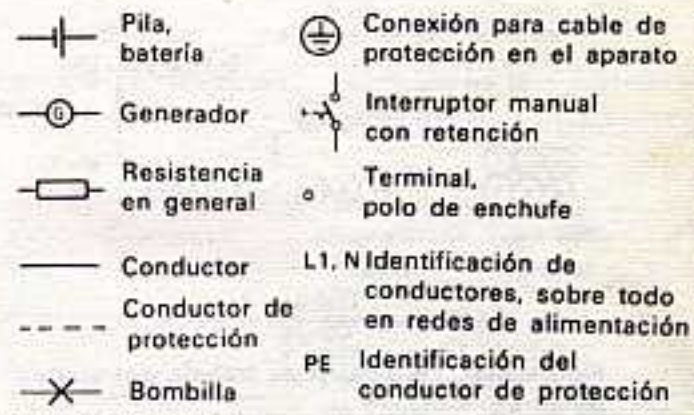


Figura 6-3. Símbolos empleados en diagramas de conexión.

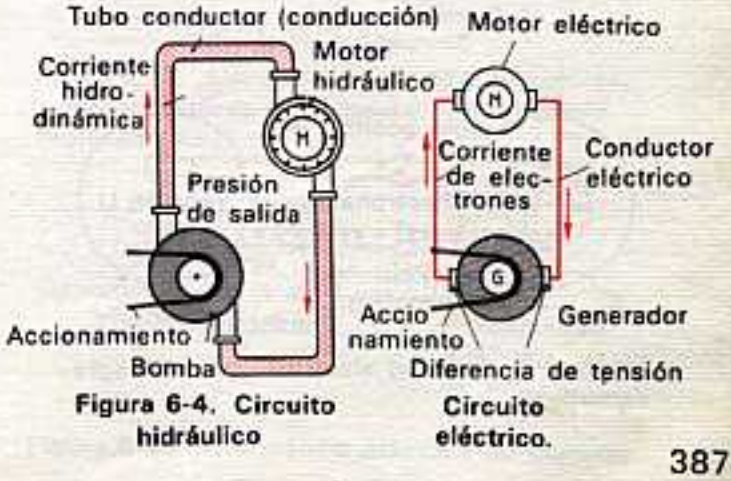


Figura 6-4. Circuito hidráulico **Circuito eléctrico.**

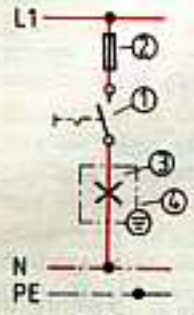


Figura 6-5. Esquema del circuito.

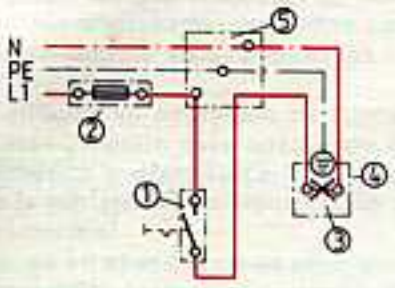
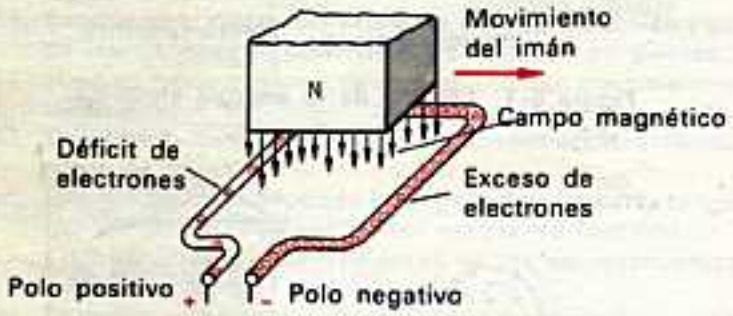


Figura 6-6. Esquema de conexiones.



Principio del generador: Al moverse un imán sobre una espira conductora, en los extremos de ésta aparece una diferencia de carga.

Figura 6-7. Generación de tensión.

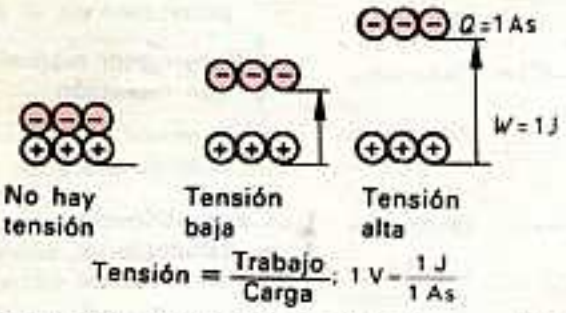


Figura 6-8. La tensión es trabajo por unidad de carga.



Figura 6-9. Tensión eléctrica (modelo representativo).

motor eléctrico. Tanto la corriente hidrodinámica como la corriente de electrones experimentan una **resistencia** en las conducciones que origina pérdidas energéticas.

Los circuitos eléctricos se representan mediante esquemas de conexiones. Los conductores L1 y N establecen el enlace con la fuente de energía eléctrica (generador de tensión). El generador de tensión (que puede ser directo o una estación transformadora) no se suele representar en dichos esquemas. El interruptor (1) cierra o interrumpe el circuito. con el interruptor cerrado, circula corriente desde el generador de tensión, a través de L1, del fusible (2), del aparato de consumo (3) (bombilla) y vuelve por el conductor N al generador de tensión. El conductor de puesta a tierra (4) queda conectado a la carcasa del aparato de alumbrado (medidas de protección, pág. 402). En las instalaciones, por ejemplo en las domésticas, los conductores se unen entre sí en las cajas de derivación (5).

TENSIÓN ELÉCTRICA

Se tiene una tensión eléctrica cuando entre dos polos existe una diferencia de carga eléctrica.

Se produce una tensión si se separan los portadores de carga positivos y negativos. En un generador, mediante el movimiento giratorio de una espira de cobre en un campo magnético, se extraen los electrones de un extremo del arrollamiento (donde se produce un déficit de electrones) y se acumulan en el otro extremo (donde hay un excedente de electrones).

La separación de cargas exige realizar un trabajo. El trabajo de W = 1 J (julio) permite separar $6{,}24 \cdot 10^{18}$ cargas elementales (unidad de carga, Q = 1 As). La tensión que así se crea es de 1 voltio (1 V).

1 voltio = 1 julio por cada culombio. 1 V = 1 J/1 As.

Se puede decir que la tensión es el trabajo por cada unidad de carga. La borna con déficit de electrones es el polo positivo (polo +) de la fuente de tensión; la que tiene excedente de electrones es su polo negativo (polo −).

La unidad de tensión es el voltio.

El símbolo de la magnitud llamada tensión es U, su unidad el voltio (V). Ejemplo: U = 220 V. Submúltiplos y múltiplos del voltio son:

1 mV (milivoltio) = $\frac{1}{1000}$ V = 10^{-3} V; 1 kV (kilovoltio) = 1000 V = 10^3 V;
1 MV (megavoltio) = 1 000 000 V = 10^6 V.

Tensiones usuales: tensiones de la conversación telefónica, de 1 mV a 800 mV; elemento de batería, 1,5 V; tensión de la chispa de la soldadura por arco, de 50 V a 70 V, tensión de soldadura, de 25 V a 40 V; tensión de la red, 220 V, 380 V; líneas de alta tensión, de 6 kV a 380 kV.

CORRIENTE ELÉCTRICA

La corriente eléctrica es el movimiento ordenado de cargas

El símbolo que representa la magnitud de intensidad de corriente es I, su unidad el amperio (A). Ejemplo: $I = 4$ A.

Al cerrarse el circuito eléctrico, el exceso de electrones que hay en el polo negativo de la fuente de tensión trata de compensarse dirigiéndose hacia el polo positivo. A los portadores de carga (electrones) en movimiento a través del conductor eléctrico se les denomina corriente eléctrica. Si por una sección transversal del conducto considerado circulan $6{,}24 \cdot 10^{18}$ cargas elementales en un segundo, la intensidad de la corriente es de 1 A.

Los submúltiplos y múltiplos de la unidad amperio son:
1 mA (miliamperio) $= \frac{1}{1000}$ A $= 10^{-3}$ A; 1 μA (microamperio) $= \frac{1}{1000000}$ A $= 10^{-6}$ A; 1 kA (kiloamperio) = 1 000 A $= 10^{3}$ A.

Intensidades de corriente habituales: receptores de radio y televisión, hasta 100 μA; telecomunicación, de aprox. 1 mA a 10 A; aparatos electrodomésticos y de taller, de unos 10 mA a 50 A.

En el conductor, los electrones se mueven entre los iones metálicos. La velocidad de los portadores de carga es de 0,01 mm/s a 10 mm/s. Por convenio, se ha fijado como «sentido técnico de la corriente» el movimiento desde el polo positivo al polo negativo.

En el momento de cerrarse el circuito, los portadores de carga se impulsan mutuamente como las cuentas de un collar. Este impulso se propaga a la velocidad de la luz, aproximadamente.

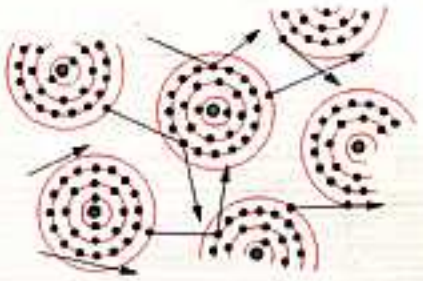


Figura 6-10. Conducción de electrones en los metales.

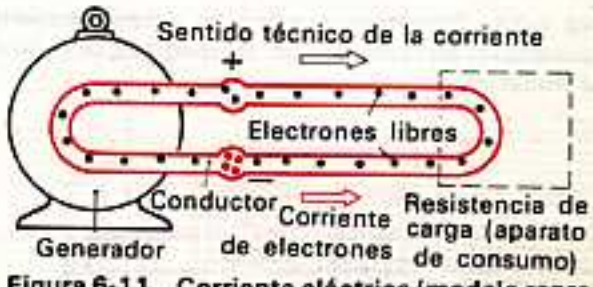


Figura 6-11. Corriente eléctrica (modelo representativo).

6.1.2 Leyes fundamentales del circuito eléctrico

MEDICIÓN DE LA TENSIÓN Y LA CORRIENTE

Si un aparato de consumo se conecta a un generador de tensión, se establece un circuito eléctrico.

Conforme al «sentido técnico de la corriente», ésta fluye desde el polo positivo, a través de la resistencia de carga (aparato de consumo o receptor), hasta el polo negativo del generador de tensión, y dentro del generador circula del polo negativo al polo positivo. Las flechas de corriente y de tensión indican ese sentido.

El aparato medidor de tensión (voltímetro) se conecta a los puntos entre los cuales se quiere determinar la tensión. La intensidad de la corriente se mide con el aparato medidor de corriente (amperímetro). Este medidor se conecta intercalado en el conductor del circuito.

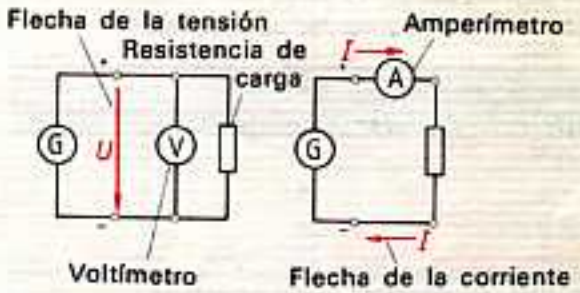


Figura 6-12. Medición de la tensión. **Medición de la corriente.**

Conductores, semiconductores, no conductores

Los **conductores** son sustancias que conducen bien la corriente eléctrica. Entre ellos están todos los metales. Conducen tanto mejor cuanto más electroens libres se tengan por cm³.

Los no conductores, como los plásticos, el vidrio, las cerámicas, son sustancias que no conducen prácticamente la corriente eléctrica.

Los **semiconductores**, como por ejemplo el silicio, el selenio, tienen una capacidad de conducción mucho menor que los conductores, pero mayor que los no conductores.



Figura 6-13. Electrones libres en conductores, semiconductores y no conductores (modelo representativo).

RESISTENCIA ELÉCTRICA

En el hilo conductor y en la resistencia de carga, los átomos metálicos oponen una resistencia a la corriente de electrones. Hay que emplear un trabajo para mantener la corriente. Este trabajo se transforma en energía calorífica, y el conductor se calienta.

El símbolo de la magnitud que mide la resistencia eléctrica es R, su unidad es el Ohmio (Ω, omega). Ejemplo: $R = 100\ \Omega$.

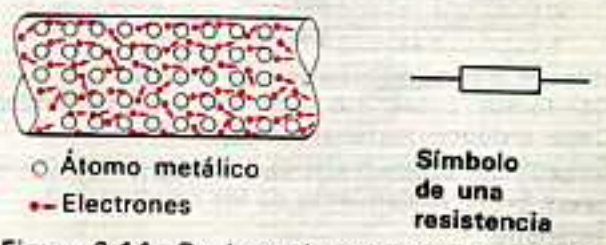


Figura 6-14. Resistencia eléctrica en metales.

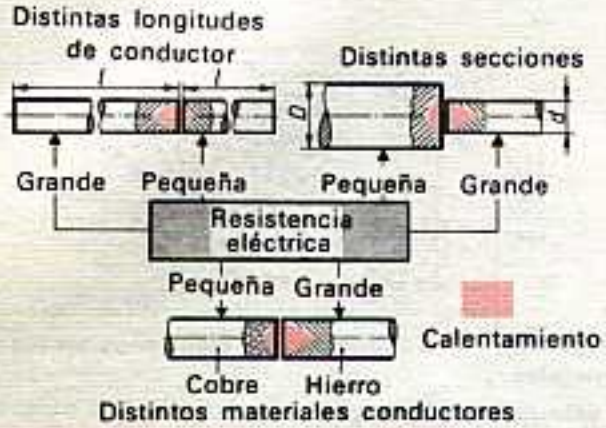


Figura 6-15. Resistencia eléctrica y calentamiento del conductor en función de la longitud, la sección y el material.



Esquema de conexiones

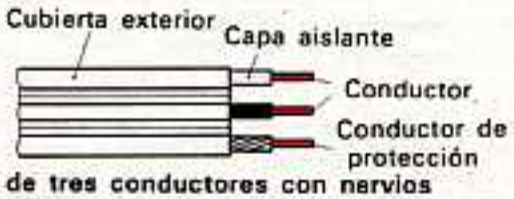
Sección del conductor mm²	Conductor Carga máxima admisible, A	Fusible
0,75	13	10
1,0	16	16
1,5	20	20
2,5	27	25

Extracto de VDE 0100, cables multifilares.

Figura 6-16. Carga permitida en conductores de cobre aislados.



Cable de manguera
Conductor: cobre, 0,75 mm², hilo delgado
Capa aislante: material termoplástico
Cubierta: material termoplástico



Hilo de tres conductores con nervios
Conductor: cobre, 1,5 mm² a 4 mm², monofilar
Capa aislante: material termoplástico
Cubierta exterior: material con goma

Figura 6-17. Aislamiento de los conductores eléctricos.

Son submúltiplos y múltiplos del ohmio:
1 mΩ (miliohmio) = $\frac{1}{1\,000}$ Ω; 1 μΩ (microohmio) = $\frac{1}{1\,000\,000}$ Ω; 1 kΩ (kiloohmio) = 1000 Ω; 1 mΩ (megaohmio) = 1 000 000 Ω.

Resistencias usuales: lámparas y aparatos electrodomésticos, de unos 10 Ω a 1 000 Ω; resistencia de aparatos electrónicos, hasta 1 000 mΩ; acometidas cortas, de aprox. 1 μΩ a 100 mΩ.

Los conductores tienen un valor resistivo pequeño

Los portadores de carga eléctrica deben circular superando los efectos de la resistencia. El cobre tiene un valor resistivo pequeño. La resistencia de un alambre de 1 m de longitud y 1 mm² de sección a 20°C es de 0,0178 Ω. Este valor se toma como **resistencia específica o resistividad** (símbolo ρ, ro) del cobre.

Ejemplos:
Cobre, $\rho = 0{,}0178\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; aluminio, $\rho = 0{,}0286\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; acero, $\rho = 0{,}14\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

El efecto de la resistencia es tanto mayor cuanto mayor sea la longitud l del conductor. Disminuye si aumenta la sección S del conductor.

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{S}$$

ϱ = resistividad en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
l = longitud del conductor en m
S = sección del conductor en mm²

Ejemplo:
La resistencia de un conductor de cobre de $l = 130$ m y $S = 0{,}1257$ mm² (0,4 mm de diámetro) es

$$R = \frac{0{,}0178\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 130\ \text{m}}{0{,}1257\ \text{mm}^2};\quad R = 18{,}4\ \Omega$$

REQUISITOS A CUMPLIR POR LOS CONDUCTORES

Para evitar un calentamiento excesivo, los conductores eléctricos deben tener una sección acorde con la intensidad que atraviesa la resistencia de carga y estar protegidos contra sobrecargas por medio de fusibles adecuados.

La carga que permiten los conductores de cobre y la asignación de fusibles se determina conforme a la VDE 0100.

Ejemplo:
Para una intensidad total de $I = 14{,}4$ A, se necesitan una sección de 1 mm² y una protección contra sobrecarga de 16 A.

Los conductores móviles y de instalación fija deben estar aislados. Las sustancias aislantes, por lo tanto, tienen una gran resistividad. Por ejemplo, en el polietileno y el cloruro de polivinilo (PVC), con superficie A = 1 cm² y longitud de 1 m, $\rho = 10^{12}$ a $18^{18}\ \Omega \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$. A través de un aislamiento de 1 mm de grosor y con una tensión de 220 V, no pasa más que una corriente de aprox. $2 \cdot 10^{-12}$ A.

Los conductores, ya sean en cable de manguera o en hilo doble, se marcan con colores. Los conductores de puesta a tierra son de color verde-amarillo (Ve-Am), los de corriente son de color azul claro (Az) y marrón (Ma).

LA CORRIENTE EN FUNCIÓN DE LA TENSIÓN Y LA RESISTENCIA

En un circuito cerrado, si la resistencia *R* permanece constante, la intensidad *I* es proporcional a la tensión *U*.

El valor de la corriente depende de la tensión. Una tensión alta supone un gran exceso de electrones en el polo negativo y un gran déficit de electrones en el positivo. Por ello, la tendencia de los electrones a la compensación es mayor, de donde se deduce que al aumentar la tensión lo hace también la corriente.

Como una gran resistencia frena más el paso de la corriente eléctrica, es lógico pensar que al aumentar la resistencia se hará más pequeña la intensidad de la corriente.

Experimento: Se tiene un circuito formado por un generador de tensión y un aparato de consumo. Al aumentar la tensión aplicada de $U = 2$ V a $U = 8$ V, se mide una intensidad que va subiendo de $I = 0{,}2$ A a $I = 0{,}8$ A. Pero el cociente entre la tensión U y la intensidad I permanece constante, y es lo que se llama resistencia eléctrica, R. Unidad:

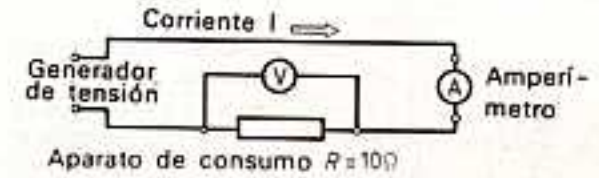
R en $\frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}} = 1\ \Omega$ (ohmio). Esta relación se llama ley de Ohm (1)

$$\text{Resistencia en } \Omega = \frac{\text{Tensión en V}}{\text{Intensidad en A}}$$

Fórmulas: $R = \frac{U}{I}$; $U = I \cdot R$; $I = \frac{U}{R}$

Ejemplo:
Una resistencia de $R = 20\ \Omega$ es atravesada por una corriente con la tensión de $U = 8$ V. ¿Qué valor tiene la intensidad? (véase el diagrama).

Solución: $I = \frac{U}{R}$; $I = \frac{8\ \text{V}}{20\ \Omega} = 0{,}4$ A



Tensión U en V	Intensidad I en A	Resistencia $R = \frac{U}{I}$ en Ω
2 V	0,2 A	10 Ω
4 V	0,4 A	10 Ω
8 V	0,8 A	10 Ω

Figura 6-18. Ley de Ohm.

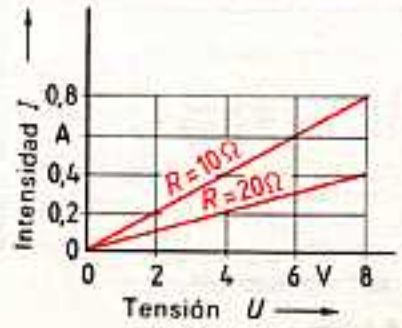


Figura 6-19. Intensidad de la corriente en función de la tensión y de la resistencia.

CONEXIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

A una fuente de tensión se conectan varias resistencias de carga (aparatos de consumo) de diversas formas.

Conexión en serie

Las resistencias están conectadas en serie siempre que estén atravesadas por la misma corriente.

Experimento: Se utilizan como resistencias dos lámparas de 4 V/1 A. Si la fuente de tensión proporciona una tensión en bornas de 8 V, las lámparas lucen a plena intensidad. En los puntos representados, se mide la intensidad de la corriente.

Magnitud	Medida	Lámpara 1	Lámpara 2	Ley
Intensidad	$I = 1$ A	$I_1 = 1$ A	$I_2 = 1$ A	$I = I_1 = I_2 = \dots$
Tensión	$U = 8$ V	$U_1 = 4$ V	$U_2 = 4$ V	$U = U_1 + U_2 + \dots$
Resistencia $R = \frac{U}{I}$	$R = 8\ \Omega$	$R_1 = 4\ \Omega$	$R_2 = 4\ \Omega$	$R = R_1 + R_2 + \dots$

1) Georg Simon Ohm, físico alemán, 1787-1854. Ω (omega), letra griega mayúscula.

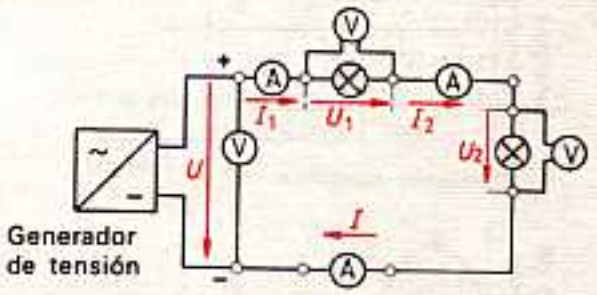


Figura 6-20. Conexión de resistencias en serie.

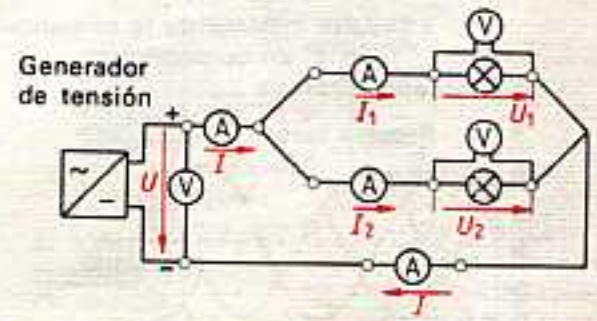
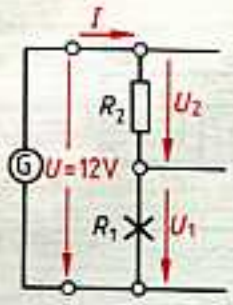


Figura 6-21. Conexión de resistencias en paralelo.



Solución del ejemplo práctico:

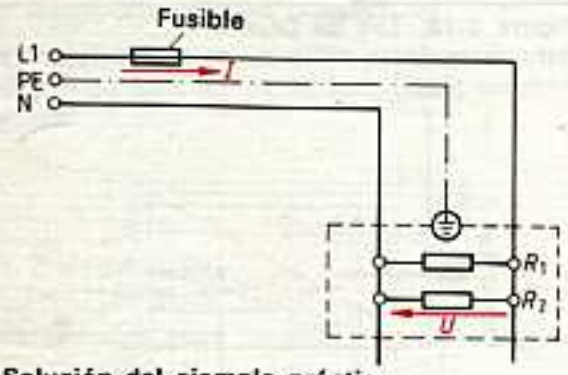
Tensión parcial en la resistencia reductora:

$U_2 = U - U_1 = 12\,V - 6\,V = 6\,V$

Resistencia reductora

$R_2 = \frac{U_2}{I};\ R_2 = \frac{6\,V}{2\,A} = 3\,\Omega$

Figura 6-22. Aparato de consumo y resistencia reductora.



Solución del ejemplo práctico:

Intensidad total:

$I = I_1 + I_2$

$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$

$I = \frac{220\,V}{50\,\Omega} + \frac{220\,V}{50\,\Omega} = 8.8\,A$

Figura 6-23. Intensidad de la corriente en la conexión en paralelo.

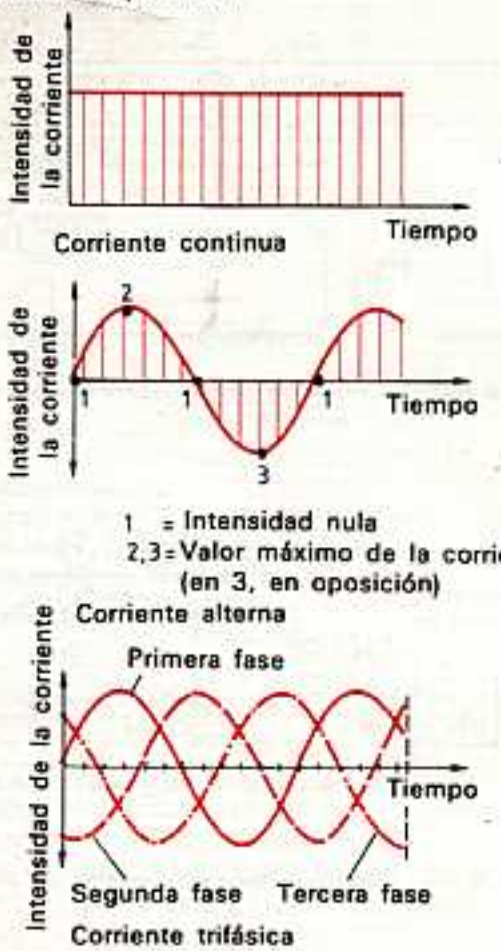


Figura 6-24. Clases de corriente.

Interpretación: (1) En la conexión de resistencias en serie, la intensidad de la corriente es la misma en cualquier parte del circuito. (2) La suma de las tensiones parciales es igual a la tensión en bornas. (3) La resistencia total es igual a la suma de las resistencias parciales.

La tensión se distribuye a lo largo de todo el circuito.

Ejemplo de aplicación: Para hacer funcionar una bombilla de 6 V/2 A con una tensión de 12 V, puede conectarse al aparato de consumo una resistencia reductora en serie.

Conexión en paralelo

Las resistencias están conectadas en paralelo cuando están atravesadas por la misma tensión.

Experimento: Se instalan las dos lámparas de 4 V/1A como se indica, conectadas a una tensión en bornas de 4 V. En los puntos marcados, se miden la tensión y la intensidad.

Magnitud	Medida	Lámpara 1	Lámpara 2	Ley
Intensidad	$I = 2\,A$	$I_1 = 1\,A$	$I_2 = 1\,A$	$I = I_1 + I_2 + \ldots$
Tensión	$U = 4\,V$	$U_1 = 4\,V$	$U_2 = 4\,V$	$U = U_1 = U_2 = \ldots$
Resistencia $R = \frac{U}{I}$	$R = 2\,\Omega$	$R_1 = 4\,\Omega$	$R_2 = 4\,\Omega$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$

Interpretación: (1) En la conexión en paralelo, la corriente total es igual a la suma de las corrientes parciales. (2) Las tensiones parciales y la total son iguales. (3) El valor inverso al de la resistencia total es igual a la suma de los inversos de las resistencias parciales.

En un punto de distribución de corrientes, la suma de las corrientes que salen es igual a la suma de las que llegan.

Ejemplo de aplicación: Dos resistencias $R_1 = 50\,\Omega$ y $R_2 = 50\,\Omega$, están atravesadas por una corriente con la tensión de $U = 220$ V. ¿Para qué intensidad de corriente ha de ponerse el fusible?

CLASES DE CORRIENTE

La **corriente continua** es una corriente de portadores de carga, de intensidad y sentido constantes. La corriente de electrones que sale de una pila o de una batería de acumuladores es una corriente continua.

La **corriente alterna** es una corriente de portadores de carga cuyos sentido e intensidad cambian de modo periódico. Un generador giratorio impulsa una corriente de electrones a través del conductor, corriente que cambia de magnitud y sentido invirtiéndose de modo regular (periódico) (ver pág. 398), es decir, que oscila de forma permanente. En muchos casos, el número de oscilaciones es de 50 por segundo. A este número de oscilaciones se le llama frecuencia y su unidad es el Hertz (Hz).

Ejemplo: la corriente alterna industrial tiene 50 Hz de frecuencia.

La **corriente trifásica** consiste en la agregación de efectos de tres corrientes alternas que se diferencian en que sus valores instantáneos son distintos. La corriente trifásica se crea en los generadores trifásicos (ver pág. 399).

FUSIBLES EN LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Protección con fusibles de hilo

Los fusibles de hilo protegen los conductores por fusión, y constan de un zócalo, del fusible propiamente dicho y de una tapa roscada.

Los fusibles tienen un hilo conductor que se funde ante una corriente de sobrecarga y ante la corriente de cortocircuito.

Se produce una **corriente de sobrecarga** cuando se sobrepasa la intensidad de corriente admitida por el aparato de consumo. Existe una **corriente de cortocircuito** cuando la resistencia del aparato de consumo está ponteada. En ese caso, la única resistencia en el circuito es la del conductor, muy pequeña. Las corrientes de cortocircuito calientan el conductor, dañan su aislamiento y crean peligro de incendio. La intensidad de corriente permitida en la resistencia de carga (intensidad nominal) debe estar de acuerdo con el fusible. El valor de éstos se reconoce por el color de la plaquita de identificación: por ejemplo, verde para 6 A, rojo para 10 A, gris para 16 A y amarillo para 25 A. Los fusibles no deben repararse, pues en tal caso se pone en peligro la protección de la instalación.

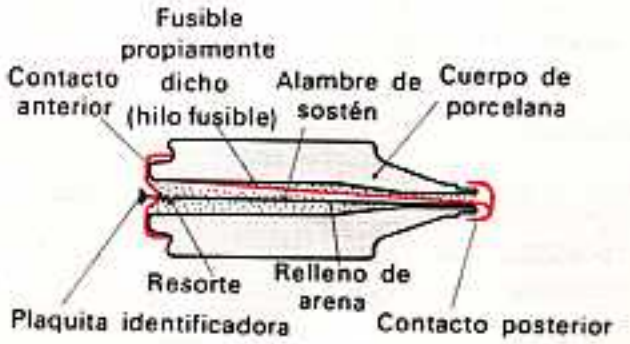


Figura 6-25. Fusible de hilo.

Disyuntores

Los disyuntores son interruptores automáticos

Tienen un disparador de sobretensión y un disparador electromagnético rápido para el caso de cortocircuito.

Al conectar(1), el gatillo (2) tensa el resorte de disparo (3), con lo cual el interruptor de contacto (4) cierra el circuito. La corriente circula a través del arrollamiento calefactor (5) y de la bobina magnética (6). Ante una corriente de sobrecarga, se calienta la tira bimetálica (7). Esta se curva y libera al gatillo (2), con lo cual el resorte de disparo (3) abre el interruptor de contacto (4).

En un cortocircuito, el gran valor de la corriente de cortocircuito crea, en la bobina magnética, una fuerza que atrae a la tira bimetálica y suelta de inmediato el gatillo (2).

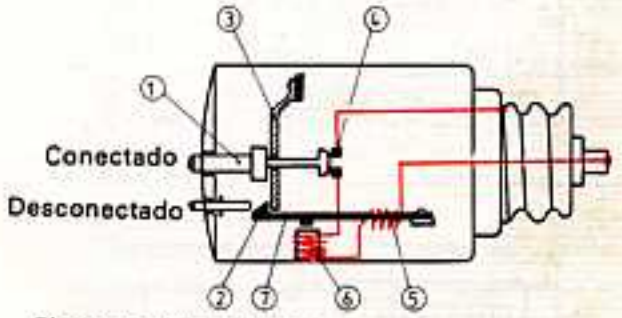


Figura 6-26. Disyuntor.

6.1.3 Transformación de la energía eléctrica

ENERGÍA Y TRABAJO

Los combustibles contienen energía en forma química, los núcleos atómicos poseen energía nuclear, un coche en marcha tiene energía cinética, una fuente de tensión posee energía eléctrica.

Los aparatos de consumo son transformadores de energía. Se habla de **trabajo** cuando la energía se transforma y se hace utilizable.

Ejemplo:

En un motor eléctrico, la energía eléctrica aportada se transforma en energía mecánica. La tensión eléctrica aplicada al motor impulsa una cierta cantidad de electricidad a través de su arrollamiento inductor, realiza un **trabajo eléctrico**. Mediante la transformación de la energía, el inducido del motor obtiene una energía mecánica (cinética o del movimiento). Esta permite realizar, transmitida a una polea, un **trabajo mecánico** sobre un cuerpo. Este, una vez elevado, tiene una energía (potencial) mayor que antes.

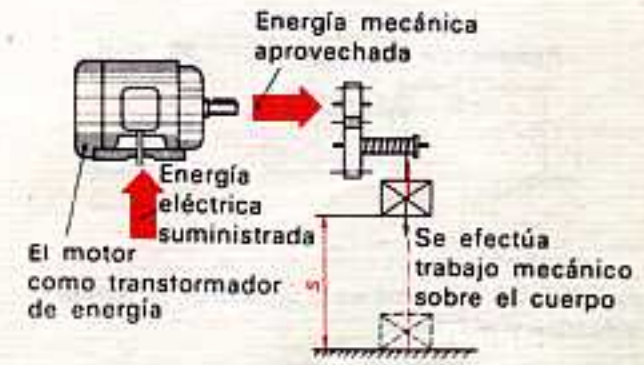


Figura 6-27. Transformador de energía.

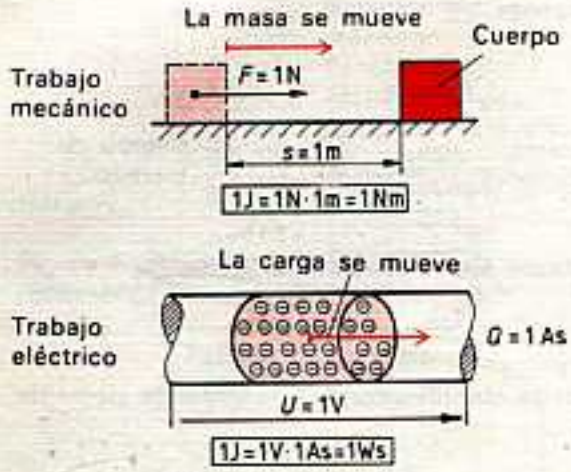


Figura 6-28. Transformación de trabajo eléctrico en trabajo mecánico.

Ejemplo:
En un calentador de inmersión, se produce una transformación de trabajo eléctrico en trabajo calorífico.

Datos: $U = 220$ V, $I = 4{,}55$ A, $t = 6$ min

$W = U \cdot I \cdot t$
$W = 220\ \text{V} \cdot 4{,}55\ \text{A} \cdot 360\ \text{s}$
$W = 360\ 360\ \text{Ws} = 360\ 360\ \text{J}$



Figura 6-29. El julio es la unidad de trabajo.

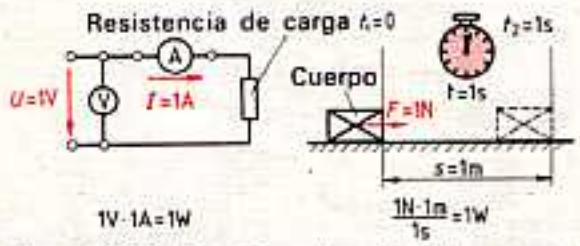


Figura 6-30. El vatio es la unidad de potencia eléctrica y mecánica.

La energía no se puede crear ni destruir

Trabajo mecánico y trabajo eléctrico

Se entiende por **trabajo mecánico**, W, el producto de la fuerza F por el camino s recorrido mediante la acción de aquélla.

$$W = F \cdot s$$

F = fuerza en N
s = camino recorrido en m
W = trabajo en N·m

El nombre abreviado del producto newton metro (N·m) es julio (J). Se tiene: 1 N·m = 1 J. Si, por ejemplo, un cuerpo recorre la longitud de $s = 1$ m, con movimiento uniforme, bajo la acción de la fuerza $F = 1$ N, se realiza en el cuerpo un trabajo de $W = 1\ \text{N} \cdot 1\ \text{m} = 1\ \text{J}$.

Se realiza **trabajo eléctrico** siempre que una tensión eléctrica, U, impulsa una cantidad de electricidad Q a través de un conductor.

Por lo tanto, el trabajo eléctrico es proporcional a la tensión U y a la cantidad de electricidad transportada, Q. La cantidad de electricidad Q se deduce de la intensidad de la corriente, I, y del tiempo t durante el cual circula una corriente de dicha intensidad.

Tenemos:: $W = U \cdot Q$ y $Q = I \cdot t$. De ambas fórmulas se deduce:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

U = tensión en V (voltios)
I = intensidad de la corriente en A (amperios)
t = tiempo en s (segundos)
W = trabajo en V · A · s = VAs = Ws

El producto de voltio por amperio toma el nombre de vatio (W). La unidad de trabajo eléctrico es, pues, el vatio durante un segundo, igual al vatio-segundo. La unidad de vatio-segundo coincide con la unidad de julio. O sea, 1 VAs = 1 Ws = 1 J.

La unidad de trabajo mecánico llamada julio y la unidad de trabajo eléctrico vatio-segundo = julio son, pues, unidades físicas para la misma magnitud (trabajo) (1).

Medición del trabajo eléctrico

El kilovatio-hora es la unidad de trabajo en que facturan las empresas suministradoras de energía eléctrica.

Se tiene: 1 vatio-hora = 1 Wh = 3 600 Ws, y 1 kilovatio-hora = 1 kWh = 1 000 Wh = $3{,}6 \cdot 10^6$ Ws.

El valor del trabajo eléctrico se determina mediante un «contador». Para ello se miden la intensidad de la corriente, la tensión y el tiempo, éste con ayuda de un disco giratorio. La constante de tiempo del contador indica cuántas revoluciones del disco contador corresponden a 1 kWh.

POTENCIA ELÉCTRICA

La capacidad de los aparatos eléctricos para realizar trabajo se indica por su potencia. Bombillas, motores, aparatos eléctricos de calefacción se aprecian por su potencia.

La potencia indica con qué rapidez se realizará un trabajo.

1) James Watt (1736-1819), descubridor inglés,
James Joule (1818-1889), físico inglés.

El símbolo de la potencia es P, su unidad el vatio (W). Se alcanza la potencia de 1 vatio cuando el trabajo de un julio se realiza en un segundo.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}} \qquad P = \frac{W}{t}$$

Potencia mecánica

$$P = \frac{W}{t}; \quad P = \frac{F \cdot s}{t}$$

Unidad: P en $\frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$

Potencia eléctrica

$$P = \frac{W}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}; \quad P = U \cdot I$$

Unidad: P en $\text{V} \cdot \text{A} = \text{W}$

Potencia mecánica y potencia eléctrica son magnitudes físicas de la misma clase.

El aparato de consumo conectado a la red de suministro de energía absorbe potencia eléctrica. La potencia aprovechada puede ser, por ejemplo, una potencia mecánica (en motores) o una potencia calorífica (en los aparatos eléctricos de calefacción).

Submúltiplos y múltiplos del vatio son:
1 milivatio = 1 mW = 0,001 W; 1 kilovatio = 1 kW = 1 000 W.

Potencias de aparatos y máquinas de uso corriente:
Bombillas 15 W a 200 W, taladradora de mano 100 W a 600 W, soldador 100 W a 450 W, motor eléctrico 50 W a 150 kW, aparatos eléctricos de calefacción 800 W a 18 kW.

RENDIMIENTO

En la transformación de una forma de energía a otra, se producen pérdidas de la energía útil. En el motor eléctrico, por ejemplo, hay pérdidas caloríficas y magnéticas, y también pérdidas por razonamiento en los cojinetes.

El rendimiento es la relación entre la energía aprovechada y la energía suministrada.

Si se calcula en energía por unidad de tiempo, es la relación entre potencia aprovechada y potencia suministrada. El símbolo de rendimiento es η (eta). Es un valor numérico puro. No tiene unidad.

$$\eta = \frac{W_{ap}}{W_{su}} \text{ o bien } \eta = \frac{P_{ap}}{P_{su}}$$

W_{ap}, P_{ap} = trabajo o potencia aprovechados
W_{su}, P_{su} = trabajo o potencia suministrados.

Ejemplo:

La potencia eléctrica suministrada a un motor eléctrico es de 1,5 kW, mientras que la potencia mecánica aprovechada es de 736 W. Calcúlese el rendimiento.

$$\eta = \frac{P_{ap}}{P_{su}} \qquad \eta = \frac{736\ \text{W}}{1\,500\ \text{W}} = 0{,}49$$

El 49 por ciento de la potencia eléctrica se transforma en potencia mecánica.



Figura 6-31. Representación del flujo de energía.

①	E. Mot. 1BE 6052
②	Nr. E 2176239
③	220 V
④	1,3A
⑤	1420 U/min 50Hz ⑦
⑥	210 W

① Tipo de motor
② Número del motor
③ Debe conectarse a la tensión de 220 V
④ Toma de corriente, 1,3 A con potencia nominal
⑤ A potencia nominal, el rotor da 1 420 vueltas por minuto
⑥ La potencia nominal es de 210 W
⑦ La corriente alterna debe tener una frecuencia de 50 Hz (véase pág. 392)

Figura 6-32. Placa de características de un motor de corriente alterna.

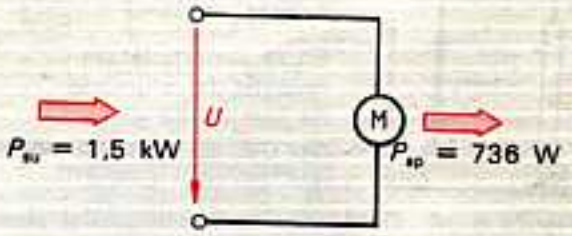


Figura 6-33. Circuito del ejemplo.

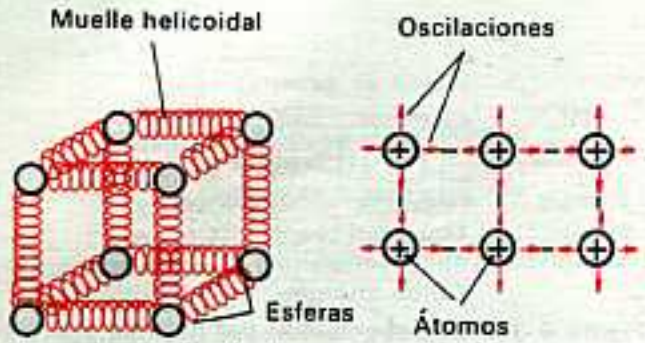


Figura 6-34. Oscilaciones de los átomos metálicos en el conductor calefactor.

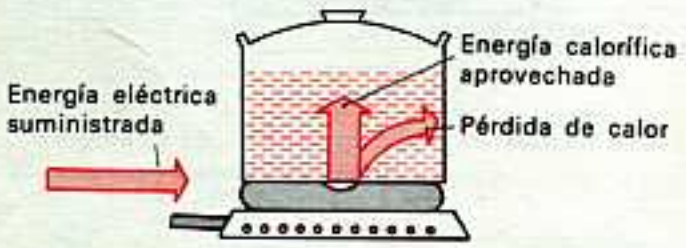


Figura 6-35. Transformación de energía eléctrica en energía calorífica.

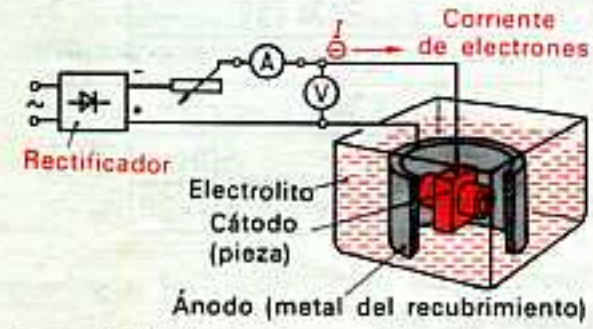


Figura 6-36. Aplicaciones de la galvanostegia.

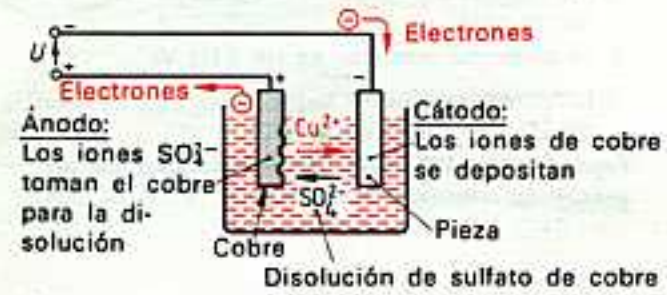
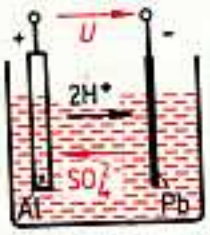


Figura 6-37. Migración de iones.



En la superficie sin revestir del aluminio se forma una delgada capa de óxido de aluminio Al_2O_3 (véase pág. 86).

Figura 6-38. Oxidación electrolítica del aluminio (anodizado).

EFECTOS CALORÍFICOS

Los aparatos eléctricos de calefacción, como el hornillo eléctrico, el soldador eléctrico, la plancha, el horno y el termosifón eléctricos, son transformadores de energía. Sus elementos calefactores consisten en aleaciones metálicas de gran resistencia eléctrica.

Si una corriente atraviesa una resistencia conductora del calor, la energía eléctrica se transforma en energía calorífica.

Modelo representativo: En una red cristalina metálica, los átomos realizan oscilaciones térmicas, es decir, oscilan alrededor de su posición de reposo con una determinada amplitud. Al producirse una corriente de electrones, sobrevienen choques entre los átomos de la red del metal y los electrones libres, y también atracciones y repulsiones mutuas.

Con todo ello, los átomos absorben energía y sus oscilaciones aumentan, lo que se hace perceptible en el exterior como elevación de la temperatura. En la transformación de la energía, una parte de la energía calorífica se pierde en el ambiente.

Ejemplo:

En un hornillo de potencia $P = 2\,000$ W, se calienta una masa $m = 3$ kg de agua en $t = 15$ minutos ($t = 900$ s), y aumenta su temperatura en $\Delta\vartheta = 80$ K. Calor específico del agua, $c = 4\,180$ Ws/(kg · K).

Energía calorífica suministrada al agua (véase página 000):

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

$Q = 3$ kg · 4180 Ws/(kg · K) · 80 K
$Q = 1\,003\,200$ Ws
$Q = 0{,}28$ kWh

Energía eléctrica suministrada al aparato calefactor:

$$W = U \cdot I \cdot t;\ W = P \cdot t$$

$W = 2000$ W · 900 s
$W = 1\,800\,000$ Ws
$W = 0{,}5$ kWh

La pérdida calorífica es de 0,22 kWh.

EFECTOS QUÍMICOS

Una aplicación industrial es el recubrimiento por baños galvánicos (galvanostegia) (1).

Por galvanización se pueden recubrir las superficies conductoras de electricidad de capas uniformes y fijas de oro, plata, níquel, cromo, cobre, etc.

La pieza llega pulida y desengrasada al baño electrolítico. Los electrolitos son disoluciones acuosas de ácidos, bases o sales. Estos se desdoblan en iones gracias al agua. Ejemplo: el $CuSo_4$ en iones Cu^{2+} y SO_4^{2-}. Ante la influencia de una tensión continua en el electrolito, los iones se ponen en movimiento. El polo negativo de la fuente de tensión se conecta al **cátodo** (que es la pieza a galvanizar), y el polo positivo al **ánodo** (que es el metal del recubrimiento).

Los iones metálicos positivos emigran en el electrolito hacia el cátodo de la fuente de tensión, los iones negativos del residuo de ácido, hacia el ánodo.

1) Galvanos-tegie (lat. tegimen = recubrimiento).

El metal se separa del ánodo y se deposita en la pieza. Para galvanizar plásticos, la superficie de éstos se hace antes conductora mediante grafito, laca conductora o vapor metálico. La capa galvanizada da al plástico el aspecto de pieza metálica.

EFECTOS MAGNÉTICOS

Los **imanes** ejercen efectos de atracción sobre materiales férreos, níquel y cobalto. Entre las aplicaciones se cuentan los embragues magnéticos y los platos magnéticos de sujeción en las máquinas herramienta.

Los imanes crean a su alrededor un campo magnético que puede representarse mediante líneas de intensidad uniforme (líneas de campo).

Los puntos por donde las líneas de campo entran o salen se llaman polos magnéticos. Todo imán tiene dos polos magnéticos. Las líneas de campo salen por el **polo Norte** y entran por el polo Sur. Se habla de salir y entrar cuando el efecto de fuerza magnética a lo largo de las líneas de campo es dirigido desde el polo hacia fuera (N) o en el sentido opuesto (S).

Son **imanes permanentes** los aceros al cobalto, los materiales sinterizados, los materiales de AlNiCo. Los átomos y moléculas de estos materiales representan pequeños imanes, llamados imanes elementales. Bajo la influencia de un campo magnético exterior, se orientan formando en total un campo magnético propio con un polo Norte y un polo Sur. En los **electroimanes**, el campo magnético se genera por la corriente eléctrica que atraviesa un conductor.

Electromagnetismo

Toda corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético.

La figura 6-41 muestra un conductor que atraviesa perpendicularmente un plano. Hagamos que circule por él una corriente *I*. Si se extiende polvo de hierro en el plano, las partículas de hierro se ordenan en anillos concéntricos. La imagen que forma el polvo de hierro es una representación de las «líneas de campo».

Si se mira en el sentido de la corriente (sentido técnico de la corriente) a una sección transversal del conductor, las fuerzas magnéticas a lo largo de las líneas de campo están orientadas en el sentido de giro de las agujas del reloj.

Una **bobina** consta de muchas espiras conductoras. Los campos magnéticos de los distintos conductores dan como resultado un campo magnético global. Los puntos por donde las líneas de fuerza entran o salen se llaman polos magnéticos. El polo magnético por donde salen las líneas de campo se llama polo **Norte**; el polo magnético por donde entran las líneas de campo se llama polo **Sur**.

Un núcleo de hierro refuerza el campo magnético.

El núcleo de hierro es magnetizado por el campo magnético de la bobina. Los imanes elementales contenidos en él se orientan. El núcleo de hierro tiene ahora un propio campo magnético. Este se superpone al campo magnético de la bobina con la consecuencia de un refuerzo del mismo reforzado.



Figura 6-39. Sujeción magnética en el rectificado de una pieza.



Figura 6-40. Campo magnético de un imán permanente.



Figura 6-41. Campos magnéticos de conductor y bobina.



Figura 6-42. Magnetización y atracción.

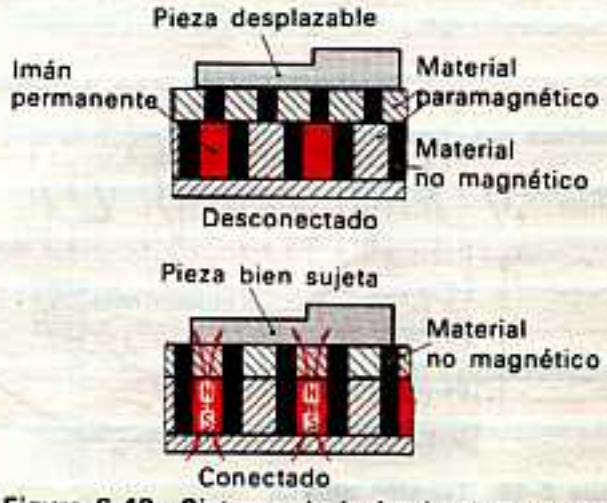


Figura 6-43. Sistema de imán desconectable.

FUERZAS DE UN IMÁN

Los imanes elementales de una pieza se orientan mediante el campo magnético del imán, la pieza se hace magnética. Frente al polo Norte del imán, en la pieza se forma un polo Sur. El polo Norte y el polo Sur se atraen. Si la pieza se aleja del campo de acción magnética del imán, vuelve a ser más o menos no magnético. Para sujetar piezas en las máquinas herramienta, se utilizan imanes permanentes desconectables. Mediante el desplazamiento de un sistema magnético bajo una placa polar, el efecto magnético de dos imanes permanentes se fortalece o se compensa hasta valer cero. En estas condiciones, en la posición de «desconectado» hay un material no magnético entre los imanes individuales y la pieza.

6.2 Máquinas eléctricas, transformadores

6.2.1 Generadores eléctricos

GENERACIÓN DE UNA TENSIÓN ALTERNA

Experimento: Una bobina, representada por una espira conductora, se hace girar en el campo magnético de un imán permanente, alrededor de un eje. Los extremos de la espira están unidos a través de dos anillos colectores a un amperímetro.

Observación: La aguja indicadora del medidor oscila alrededor de una posición media siguiendo el ritmo del movimiento giratorio. De aquí se deduce que la tensión y la corriente van cambiando de magnitud y sentido.

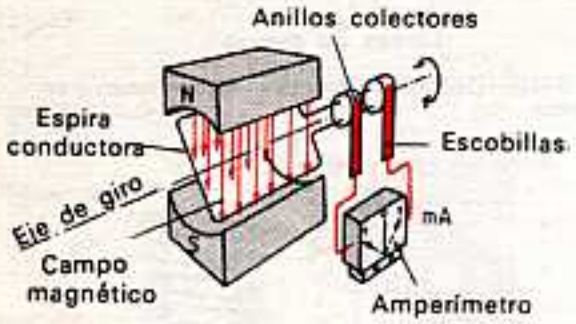


Figura 6-44. Principio del generador.

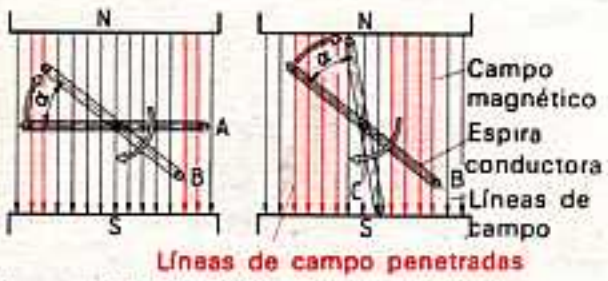


Figura 6-45. Variación del flujo magnético.

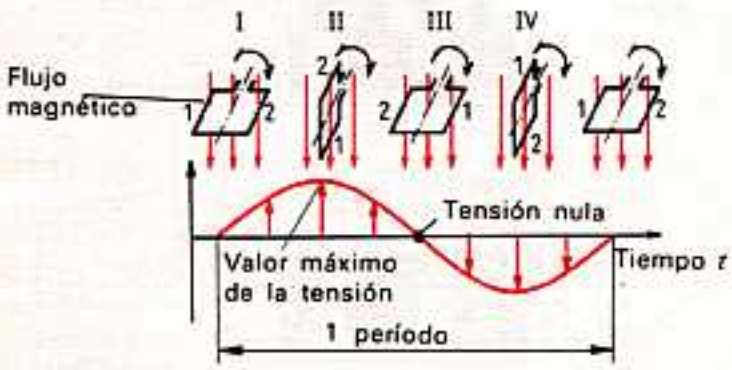


Figura 6-46. Tensión alterna.

Principio de la inducción. La cantidad total de líneas de campo magnéticas que abarca con su contorno la espira conductora se llama **flujo magnético**. Al girar la espira conductora en el campo magnético, se penetran líneas de campo, y con ello se modifica el número de líneas de campo (el flujo magnético) abarcadas por la espira conductora. Por esto, a iguales ángulos de giro, es diferente el número de líneas de campo penetradas, y con ello la variación de flujo magnético, según sea la posición de la espira. Si la espira conductora está perpendicular al campo magnético, y la espira gira de A a B, se penetran **menos** líneas de campo que si el giro es de B a C, posición en que la dirección del plano de la espira es más similar a la del campo magnético.

Cualquier variación del flujo magnético en el interior de una espira conductora crea en ésta una tensión de inducción.

Durante una media vuelta de la espira conductora, el flujo magnético, y con él la tensión de inducción, varía desde cero, pasando por un valor máximo, hasta volver a cero. En la siguiente media vuelta, varía además el sentido de la tensión. La tensión resultante se denomina por esta causa tensión alterna. El trazado de la línea (diagrama) de tensión adopta la forma de una curva sinusoidal (línea de onda). El intervalo de una línea sinusoidal entre valores repetidos se llama **período**. El número de períodos que cursa una tensión alterna en un segundo se llama frecuencia (ver pág. 392).

GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA

Los generadores constan de una parte giratoria, o rotor, y de otra fija o estátor. Los bobinados del rotor se alimentan, por ejemplo a través

de unos anillos colectores, de corriente continua que les permite crear un campo magnético. Si el rotor viene movido por una máquina motriz como una turbina, el campo magnético giratorio induce una tensión en los bobinados fijos del estátor. El valor medio de la tensión depende del número de revoluciones, de la intensidad del campo magnético creado por el rotor y del número de espiras del bobinado del estátor.

El **generador trifásico** tiene un bobinado fijo que se compone de tres bobinados parciales o ramales. Estos están distribuidos a 120° en el estátor, de modo que se crean tres tensiones alternas iguales y desfasadas en el tiempo que corresponde a un tercio de período. El sistema de las tensiones o corrientes alternas así creadas se llama tensión alterna trifásica o **corriente trifásica.**

Los generadores de las centrales eléctricas se conectan a los aparatos de consumo a través de transformadores y de una red de cuatro conductores, tres exteriores, L1, L2 y L3, y otro central (neutro) N, puesto a tierra. Entre cada dos de los conductores exteriores existe una tensión de 380 V, entre cada uno de los exteriores y el central se tiene una tensión alterna de 220 V.

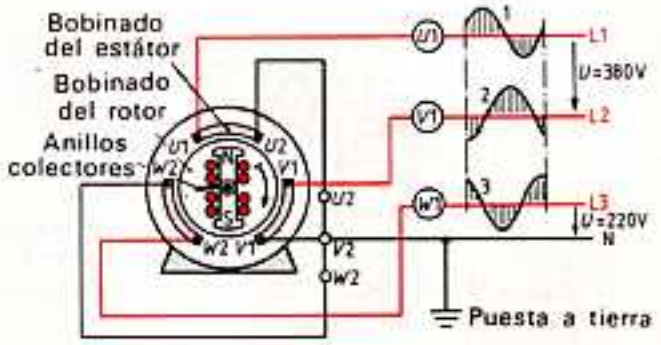


Figura 6-47. Generador de corriente trifásica.

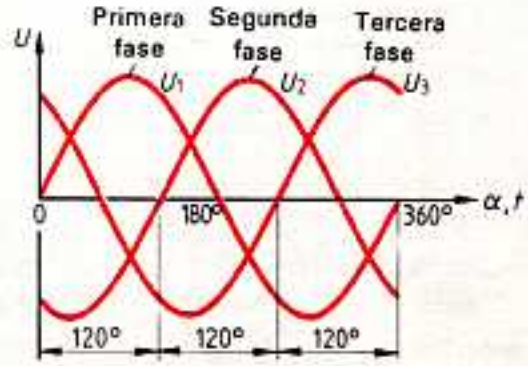


Figura 6-48. Tensión alterna trifásica.

6.2.2 Motores eléctricos

PRINCIPIO DE LOS MOTORES

Un motor eléctrico transforma energía eléctrica en energía magnética, y luego ésta en energía mecánica.

Si, como ocurre en la figura, un columpio conductor atravesado por una corriente se encuentra sumergido en un campo magnético, hay dos campos magnéticos que actúan el uno sobre el otro, el campo del imán permanente y el campo del conductor generado por la corriente eléctrica. Con ello, en un lado del conductor se refuerza el campo, mientras que en el lado opuesto se debilita. El columpio conductor es expulsado del campo, pues las líneas de fuerza tratan de seguir el camino más corto hasta el otro polo del imán.

Si se sustituye el conductor recto por una espira giratoria, se crean dos fuerzas con el efecto de momento de giro. La espira giratoria para en la posición perpendicular a las líneas de fuerza.

Pero si se le hace girar con un cierto impulso más allá de ese «punto muerto», mientras que al mismo tiempo se invierte el sentido de la corriente mediante un colector se repite el proceso siendo el sentido de la corriente eléctrica igual que en el caso anterior respecto del campo magnético exterior del imán. La bobina sigue girando en el sentido de las agujas del reloj.

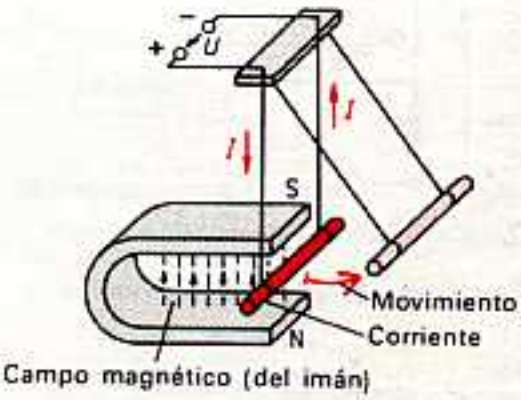




Figura 6-49. Conductor atravesado por corriente en un campo magnético.

MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA EN DERIVACIÓN

Consta de una parte fija, el inductor (estátor) y una parte giratoria, el inducido (rotor). El imán permanente se sustituye por un electroimán. Siempre hay dos bobinas inductoras conectadas en serie, que forman un par polar, con su polo Norte y su polo Sur. Las líneas de campo discurren desde el polo Norte, a través del inducido y del polo Sur, atravesando el estátor hasta llegar al polo Norte de nuevo.

La bobina giratoria sencilla se sustituye por varios devanados aislados entre sí. Están unidos a las delgas del colector. La alimen-

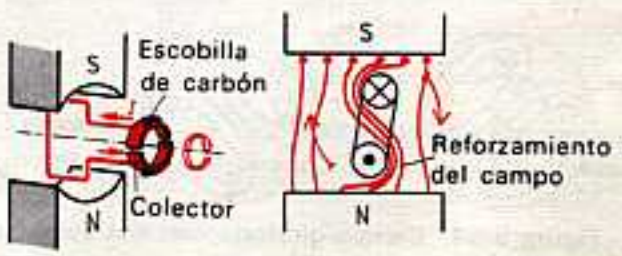


Figura 6-50. Bobina giratoria en un campo magnético.



Figura 6-51. Motor de corriente continua (motor en derivación).

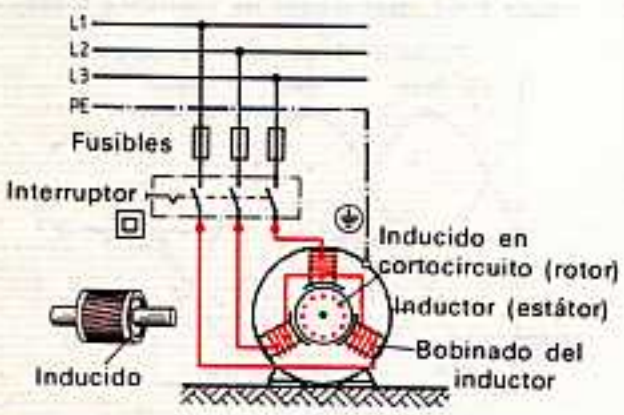


Figura 6-52. Motor de corriente trifásica de inducido en cortocircuito (modelo).

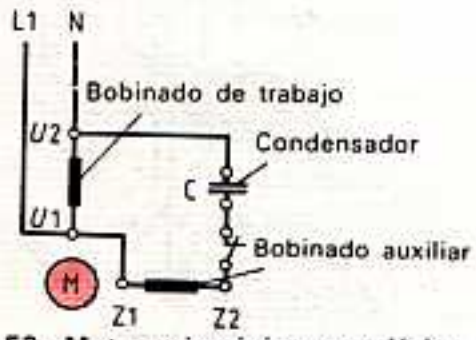
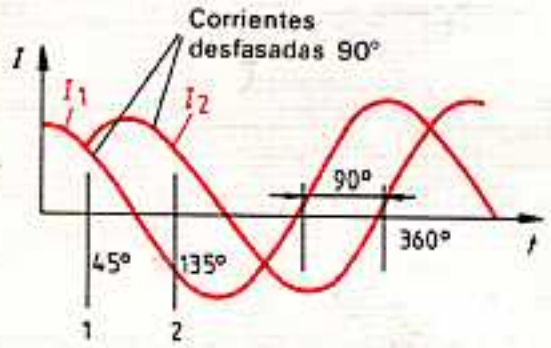


Figura 6-53. Motor asincrónico monofásico.



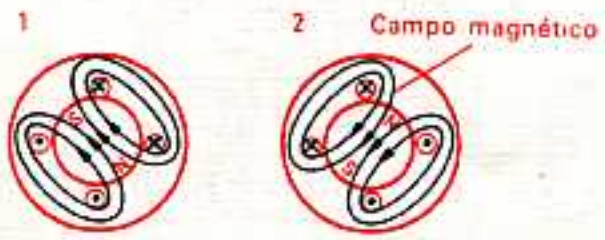


Figura 6-54. Campo giratorio con dos campos alternos desfasados 90°.

tación de corriente a estos bobinados tiene lugar mediante escobillas. Los motores de corriente continua son apropiados para el accionamiento de máquinas operadoras, p. ej., de máquinas herramienta, pues al aumentar la carga su número de revoluciones cambia poco.

MOTORES DE CORRIENTE TRIFÁSICA

Un motor de corriente trifásica con el bobinado en cortocircuito consta de un estátor con su carcasa, donde va equipado el bobinado inductor, y de un inducido formado por una jaula de aluminio en cortocircuito a modo de devanado.

Como las tres corrientes de la corriente trifásica están desplazadas entre sí en 1/3 de período, los campos magnéticos creados por ellas en el arrollamiento inductor alcanzan uno tras otro su valor máximo, de modo que se forma un campo magnético giratorio o campo trifásico. En el inducido, el campo giratorio genera una tensión inducida, la cual hace circular en el devanado en cortocircuito una corriente grande, que a su vez crea un campo magnético giratorio de inducido. Ambos campos magnéticos actúan con efecto mutuo y crean un momento de giro.

Como el giro del rotor no es sincrónico (simultáneo) con el del campo trifásico del estátor, sino que se retrasa algo, a estos motores se les llama **asincrónicos**.

Los motores asincrónicos se emplean para el accionamiento de máquinas herramienta, pues su número de revoluciones se modifica poco al aumentar la carga.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA

Los **motores asincrónicos monofásicos** tienen un bobinado inductor que puede crear un campo giratorio si se le conecta a una corriente alterna monofásica (casi siempre, 220 V). Suele ser necesario un condensador para su funcionamiento o arranque. Sobre todo, el momento de arranque es menor que el de los motores trifásicos de la misma potencia y número de revoluciones.

Los **motores universales** tienen la misma construcción que los de corriente continua, o sea que tienen un colector. Por lo tanto, en principio pueden funcionar también con tensión continua.

La corriente llega a través de escobillas al bobinado del inducido, que está conectado en serie con el inductor. Por lo tanto, cuando se enchufa a una tensión alterna, el sentido de la corriente cambia al mismo tiempo en el bobinado del inductor y en el inducido, de modo que el sentido de giro del motor no se altera.

Los motores universales se emplean con preferencia en herramientas eléctricas manuales (taladradoras, rectificadoras manuales, aspiradoras, secadores de pelo).

6.2.3 Transformadores

PRINCIPIO DEL TRANSFORMADOR

Con los transformadores se pueden aumentar o disminuir tensiones y corrientes alternas o trifásicas.

Un núcleo de hierro compuesto por chapas apiladas lleva dos bobinados, el primario y el secundario, de números de espiras respectivos N_1 y N_2.

Experimento: Si en un transformador como el de la figura 000 el bobinado primario tiene $N_1 = 916$ espiras y está conectado a una tensión alterna de $U_1 = 220$ V, y el secundario tiene $N_2 = 100$ espiras, en el secundario se medirá una tensión de $U_2 = 24$ V.

Interpretación: La relación de transformación de las tensiones es de 220 V : 24 V = 9,16, la de los números de espiras es 916 vueltas : 100 vueltas = 9,16.

Las tensiones están en la misma relación que los números de espiras.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Si al bobinado primario se le aplica una tensión alterna U_1, circulará por él una corriente alterna que dará lugar en el núcleo a un campo magnético variable, o campo magnético alterno. Por tanto, en el bobinado secundario aparecerá, por inducción, una tensión alterna U_2.

El valor de U_2 depende de la tensión primaria, U_1, y de la relación entre los números de espiras, N_1:N_2, que se llama relación de transformación.

Con el transformador cargado, la energía absorbida de la red, $I_1 \cdot U_1 \cdot t$ tiene que ser la misma que se entrega al circuito se-cundario, si se desprecian las pérdidas. Será pues $I_2 \cdot U_2 \cdot t$, de donde se deduce:

Las intensidades están en relación inversa con las tensiones o los números de espiras.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \text{ o bien } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

De estas leyes se desprende que con un número de espiras grande N_2 se pueden obtener altas tensiones pero con pequeñas corrientes y que con un número pequeño de espiras N_2 se consiguen grandes intensidades de corriente a baja tensión, que a su vez exigen una mayor sección del conductor.

Conexión a tensión continua

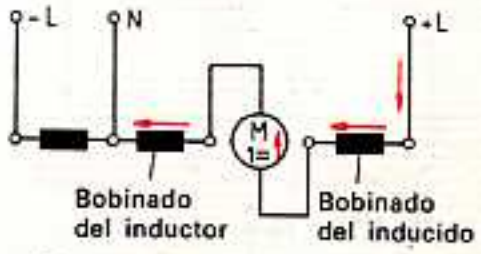


Figura 6-55. Motor universal.

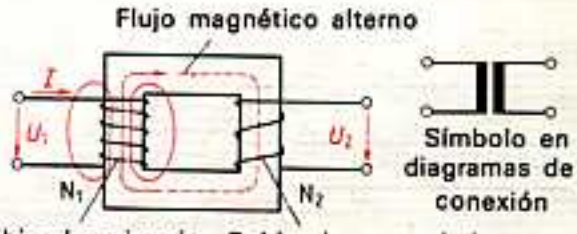


Figura 6-56. Principio del transformador.

6.3 Seguridad de los aparatos eléctricos

6.3.1 Riesgos de accidente

EFECTOS DE LA CORRIENTE EN EL CUERPO HUMANO

Para evitar poner en peligro la vida de hombres y animales por estar en contacto con una tensión, es necesario tomar medidas de protección.

El cuerpo humano es conductor de la electricidad. Su resistencia total mínima (con manos húmedas) es de unos 1300 Ω. El cuerpo puede soportar durante un tiempo breve intensidades de hasta 40 mA. Esta corriente circula ya con una tensión de $U = I \cdot R_c$; $U = 0{,}04$ A $\cdot$ 1300 Ω $\approx$ 50 V.

Se admite en el ámbito internacional que las tensiones superiores a 50 V son peligrosas.

Hasta 5 mA, la corriente eléctrica produce pequeños estímulos nerviosos. con corriente alterna de 10 a 25 mA, aparecen contraccio-

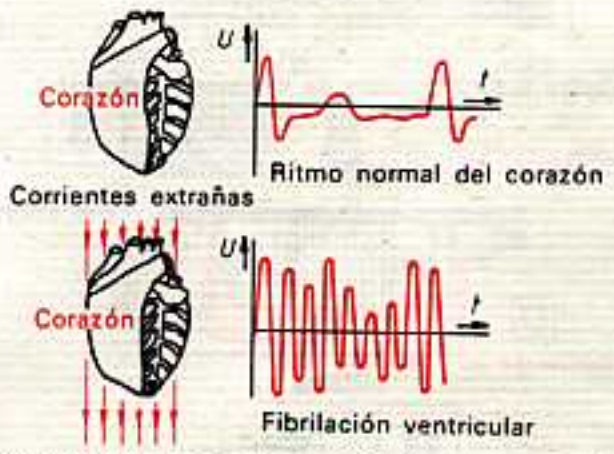


Figura 6-57. Las corrienes eléctricas son especialmente peligrosas cuando atraviesan el corazón.

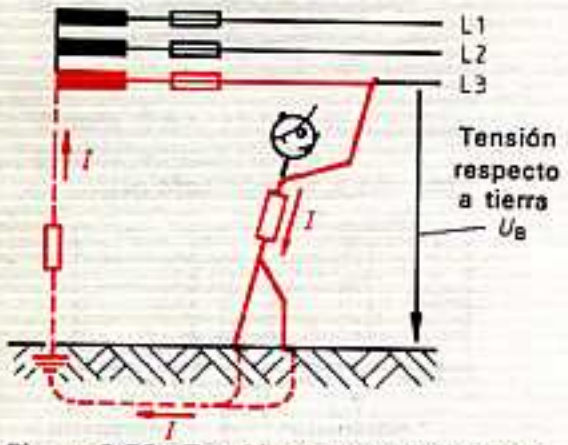


Figura 6-58. Tensión de contacto directo.

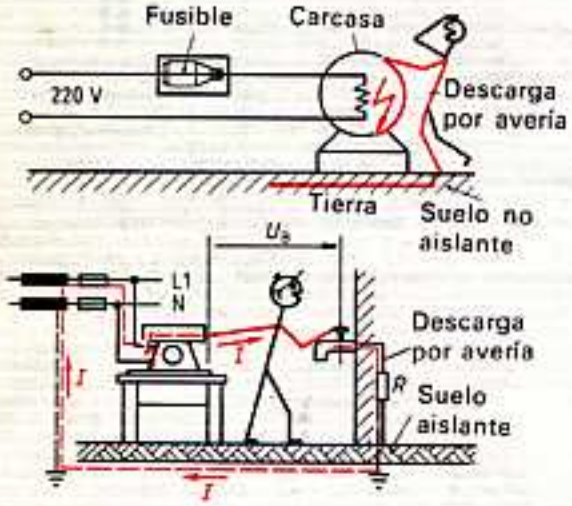


Figura 6-59. Tensión de contacto indirecto.

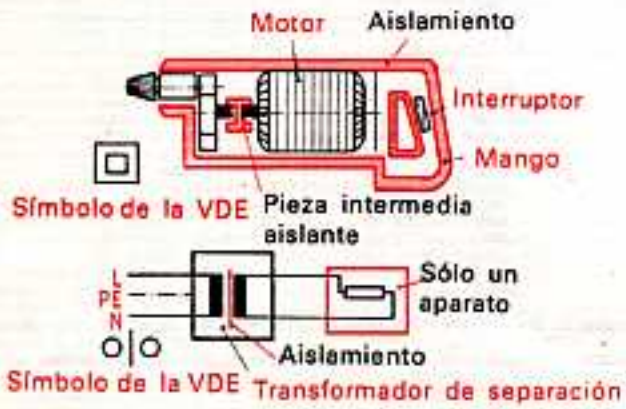


Figura 6-60. Protección por aislamiento y protección por separación de circuitos.

nes musculares. Una corriente de 25 a 80 mA aumenta la presión sanguínea, trastornos cardíacos, quizá pérdida del conocimiento. Desde 80 mA a 5 A, la corriente alterna puede producir la muerte inmediata por fibrilación ventricular del corazón, por encima de los 5 A, quemaduras de la piel y cocimiento de la musculatura.

Ejemplo:

Con una tensión de contacto de 220 V, la corriente que atraviesa el cuerpo humano es de $I = U/R_c$: $I = 220\ V/1300\ \Omega = 0{,}17\ A = 170\ mA$. Puede ser mortal.

Existen riesgos de contacto directo con un conductor y también de contacto indirecto, como es el contacto con un aparato que sólo en caso de avería tiene tensión, por ejemplo si falta aislamiento o está defectuoso (derivación).

El riesgo depende del tiempo de actuación, es decir, del tiempo que la corriente atraviesa el cuerpo. Así pues, con una corriente de 50 mA y un tiempo de actuación de 1 s aparece fibrilación ventricular, con una intensidad de 500 mA aparece ya al cabo de una décima de segundo.

La corriente eléctrica es tanto más peligrosa cuanto mayor sea el tiempo de actuación sobre el organismo.

Las **reparaciones** de máquinas y aparatos eléctricos tienen que ser realizadas exclusivamente por especialistas. Hay que tener en cuenta al respecto: en funcionamiento las partes que trabajan con tensión deben estar aisladas. Está prohibido trabajar en aparatos sometidos a tensión, antes tienen que desconectarse por completo. Los puntos de empalme tienen que comprobarse y estar libres de tensión.

PRIMEROS AUXILIOS

Primeras medidas en accidentes por contacto eléctrico

1. Desconectar la corriente o, en caso que no sea posible hacerlo: 2. retirar al accidentado con objetos aislantes de la zona de peligro. 3. Llamar al médico. 4. Determinar las lesiones (no hay respiración cuando un espejo, sostenido ante boca y nariz, no se empaña. Hay paro circulatorio cuando las pupilas no se empequeñecen al darles la luz. Aplicar respiración artificial o masajes al corazón). 5. Ante el efecto de choque (el pulso se hace rápido y débil, sudores), acostar al accidentado y levantarle un poco las piernas.

6.3.2 Medidas de protección

MEDIDAS DE PROTECCIÓN SIN CONDUCTOR DE PROTECCIÓN

En la **protección por aislamiento**, los aparatos eléctricos se rodean de materiales aislantes duraderos. Son materiales aislantes muy fuertes desde el punto de vista mecánico. Los aparatos deben dotarse del símbolo de aislamiento protector.

En la **protección por separación** de circuitos, se conecta un transformador, con bobinados separados y bien aislados el uno del otro, entre la red y el aparato. Si el aparato tiene derivación, no se

cierra circuito con tierra. Los transformadores de separación llevan el símbolo ojo.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN CON CONDUCTOR DE PROTECCIÓN

El conductor de protección (PE) se identifica con los colores verde-amarillo. Se fija al aparato con el tornillo en éste previsto para el caso y se lleva al hilo neutro de la acometida, que está conectado a tierra. A esta medida de protección se le denomina **puesta a tierra.**

Si una pieza del aparato entra en contacto con un conductor por donde circule corriente, se produce una corriente de cortocircuito. Esta es suficiente para hacer saltar el fusible sin peligro. La corriente de cortocircuito pasa a tierra a través del conductor de protección y del neutro.

En los dispositivos de **corte por intensidad en defecto** (FI) se compara la corriente que llega con la que sale. Si existe, por ejemplo, una diferencia de 30 mA, se dispara el disyuntor e interrumpe el circuito.

Fichas y enchufes se proveen de **contactos de seguridad.** A ellos se conecta siempre el conductor de protección verde-amarillo. En la ficha, el conductor de protección debe ser más largo que los conductores activos, con lo que al romperse el cable el **último** en interrumpirse es el conductor de protección.

En caso de defectos en los hilos, las clavijas y aparatos deben ponerse de inmediato fuera de servicio.

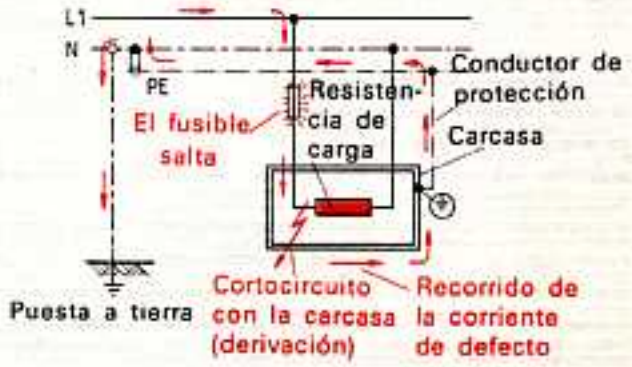


Figura 6-61. Protección por puesta a tierra.

CONEXIÓN DE APARATOS ELÉCTRICOS

Los cables eléctricos deben conectarse **fijamente** mediante bornes, empalmes roscados o grapas. En un empalme flojo se produce una resistencia, con el peligro de un calentamiento excesivo de la zona. Los hilos no deben llevar aislante en la zona de empalme.

Si se emplean alicates de corte o cuchillas para el cable, debe evitarse morder los conductores. Los hilos mordidos pueden romperse.

Los cables multifilares, deben dotarse de terminales o manguitos, con lo que ningún hilillo separado puede causar cortocircuito.

Los aparatos y lámparas deben corresponder a la clase de protección prescrita para el recinto afectado. La identificación se produce por medio de símbolos o letras identificadoras y cifras. Vienen indicados en el aparato, por ejemplo, alumbrado protegido de la lluvia (1), aparato protegido contra el polvo (2), alumbrado protegido contra la condensación del agua (3). Si los aparatos están comprobados, llevan en Alemania el símbolo VDE (Verein **D**eutscher Elektrotechniker) (4). Si las instalaciones tienen una conexión de alta tensión, ésta se da a conocer con el símbolo (5).

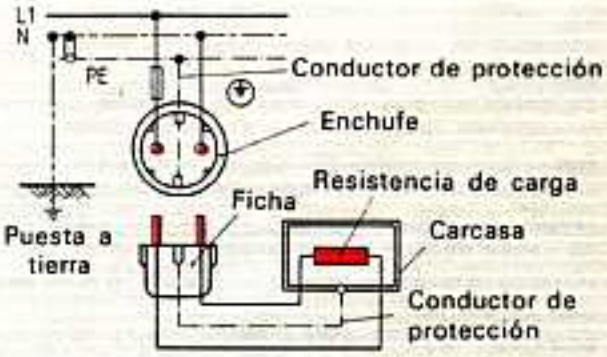


Figura 6-62. Puesta a tierra de enchufe y ficha.



Figura 6-63. Designaciones por símbolos.

Ejercicios

Circuito eléctrico

1. Describir la transformación de energía en la galvanización, en el motor eléctrico, en el soldador eléctrico, en la bombilla.
2. Dibujar el circuito de funcionamiento de una bombilla.
3. Explicar la diferencia entre portadores de carga positivos y negativos.
4. ¿Por qué los átomos son neutros exteriormente?
5. Explicar lo siguiente: la tensión es el trabajo por unidad de carga.
6. Fundamentar lo siguiente: a) una tensión eléctrica no puede existir más que entre dos polos, b) la corriente de electrones

tiene el sentido del polo negativo al polo positivo del generador de tensión.
7. Indicar los datos usuales de tensión e intensidad de corriente, en aparatos eléctricos.

Leyes fundamentales del circuito eléctrico

8. En un aparato de consumo se quieren medir la corriente y la tensión. ¿Cómo se llaman los aparatos de medida y cómo hay que conectarlos? Preparar un esquema de conexiones.
9. ¿De qué magnitudes depende la resistencia eléctrica de un conductor?
10. Fundamentar el empleo del cobre en conductores eléctricos.
11. ¿Cómo varía la resistencia cuando se duplica a) la longitud, b) la sección de un conductor?
12. Asignar las unidades de ohmio, amperio y voltio a las magnitudes eléctricas correspondientes.
13. La tensión de un receptor de $R = 100\ \Omega$ varía de $U = 220$ V a $U = 240$ V. ¿Cómo varía la intensidad?
14. Se quiere duplicar la corriente que atraviesa un aparato de consumo. Indicar las posibilidades de hacerlo.
15. ¿Por qué con grandes intensidades de corriente hace falta que también la sección del conductor sea de tamaño suficiente?
16. Asignar las intensidades de 4 A, 10 A, 15 A y 25 A a secciones de conductor (emplear los valores tabulados).
17. Fundamentar el efecto de una sustancia aisladora. ¿En qué se distinguen los conductores de corriente del conductor de protección?
18. Se tienen tres aparatos de consumo a) en serie, b) en paralelo, conectados a un generador de tensión. Dibujar los circuitos.
19. Con referencia al ejercicio 18, indicar las conexiones de los aparatos de medida para medir las tensiones y corrientes parciales y totales.
20. Se conectan tres lámparas en paralelo. ¿Qué ocurre si una lámpara se estropea?
21. Hacer un esquema de conexiones para alimentar cuatro aparatos de consumo conectados en paralelo.
22. Indicar las causas de una corriente de sobrecarga.
23. ¿A causa de qué puede producirse un cortocircuito?
24. ¿Cuál es la razón de que un fusible de 16 A no se sustituya por otro de 20 A?
25. Explicar el siguiente dato de una placa de características de un contador: 50 Hz.
26. Explicar el comportamiento en el tiempo de la corriente en los siguientes casos: a) corriente continua, b) corriente alterna, c) corriente trifásica.

Transformación de la energía eléctrica

27. Mencionar las transformaciones posibles de distintas formas de la energía.
28. Energía y trabajo se abrevian con el símbolo W. ¿Por qué tiene sentido, a pesar de ello, separar los conceptos de energía y trabajo?
29. En un cuerpo de 2 000 N de peso se realizó un trabajo ascensional de 8 000 J. ¿A qué altura sobre la que ocupaba se le elevó?
30. Explicar con un ejemplo en cada caso los conceptos de trabajo mecánico y de trabajo eléctrico.
31. Expresar 750 Wh a) en kWh, b) en Ws.
32. ¿Por qué no es correcto hablar de «consumo de corriente?
33. Un aparato calefactor indica en su placa: 220 V, 800 W.
    a) Calcular su intensidad nominal.
    b) ¿Cuántos kWh de trabajo eléctrico transforma dicho aparato en 4 horas?
34. Convertir 1,3 kW en W y 300 W en kW.
35. El rendimiento de una máquina tiene siempre un valor menor que 1. Razonar esta afirmación.
36. Mencionar valores usuales de potencia de bombillas y calentadores.
37. Explicar la indicación: rendimiento 80%.
38. Explicar con un modelo el efecto calefactor de la corriente.
39. Se quiere que un calentador de inmersión de 2 000 W caliente 2 kg de agua de 20°C a 80°C sin pérdidas. ¿Cuánto tiempo tardará?
40. Mencionar y razonar la asignación correcta de cátodo, ánodo, metal de recubrimiento y pieza, en galvanostegia.
41. Explicar la misión del electrolito. ¿Por qué hace falta corriente continua para la galvanostegia?
42. Dibujar el campo magnético de un imán en forma de barra.
43. Dibujar la sección transversal de una bobina y el campo magnético de ésta. Indicar los polos Norte y Sur.
44. El acero puede imanarse mediante un imán permanente. ¿Cómo se explica esto?
45. Se tienen dos imanes. ¿En qué condiciones desarrollan una acción mutua a) atractiva, b) repulsiva?

Generadores

46. Completar la frase siguiente: Se genera una tensión de inducción, cuando...
47. Representar el recorrido de la corriente en una espira conductora sumergida en un campo magnético cuando ha dado media vuelta/una vuelta completa.
48. Definir el concepto de «período».
49. ¿De qué magnitudes depende la tensión de un generador?
50. Indicar la constitución de un generador trifásico.
51. ¿Qué tensión existe entre el conductor de puesta a tierra (neutro) y los conductores exteriores de una red alterna trifásica?

Motores eléctricos, transformador

52. Comparar la constitución de un motor trifásico con la de un motor de corriente alterna monofásica.
53. ¿Qué motor alimentado de una red de corriente alterna monofásica es el adecuado para accionar un torno?
54. ¿Por qué la mayoría de las herramientas eléctricas manuales tienen motor universal?
55. ¿Por qué no se puede elevar ni reducir una tensión continua con un transformador?
56. Describir la transformación de una tensión de 220 V a 60 V.
57. Comparar el principio del generador con el principio del transformador.

Riesgos de accidente

58. Explicar, a la vista de las figuras,
    a) la existencia de una derivación
    b) el efecto de tensión sobre el cuerpo humano.
59. ¿Por qué no deben usarse aparatos eléctricos con el cuerpo mojado?
60. ¿Por qué las reparaciones de máquinas y aparatos no deben realizarse más que por electricistas?
61. ¿Cuáles son los primeros auxilios en accidentes por electricidad?
62. Distinguir entre protección por aislamiento y protección por separación de circuitos.
63. Indicar la misión y el distintivo en color del conductor de protección.
64. Seguir el recorrido de la corriente de una derivación con el hilo neutro puesto a tierra.
65. Explicar el efecto protector de la ficha y el enchufe de seguridad.

Índice alfabético

Abocardado, unión por, 261.
Abocinado, ensayo de (tubos), 97.
Abombado, 133.
Abrasivos, 223.
Acanalado, 261.
— cilindros, 139.
Accionamiento hidráulico, 220.
— por rueda de fricción, 380.
Aceite a presión, desmontaje, 347.
— hidráulico, 320.
Acero de herramientas de baja aleación, 176.
— no aleado para herramientas, 176.
—, procedimiento al oxígeno, 50.
—, — eléctrico, obtención, 50.
Aceros aleados, 48, 68.
— básicos, 48, 67, 68.
—, bonificado de los, 288.
— bonificados, 74.
—, cementación, 74.
—, clasificación de los, 68.
— de alta aleación, 48.
— — baja aleación, 48.
— — calidad, 48, 67, 68.
— — construcción, 71.
— — nitruración, 74.
— — perfiles, 76.
— en barra, 77.
— finos, 48, 67.
— — de construcción, 48, 73.
—, formas comerciales de los, 76.
— inoxidables, 74.
— no aleados, 48, 68.
— para herramientas, 75.
— — tornos automáticos, 74.
— — trabajos en caliente, 75.
— — — — frío, 75.
— rápidos, 74.
—, recocido de los, 288.
Acetileno, 272.
—, botellas de, 273.
Ácido carbónico, 83.
— clorhídrico, 82.
— sulfúrico, 83.
Acoplamiento de articulación con rótula, 364.
Acoplamientos, 362 y ss.
—, clases de, 363.
— con banda de acero, 365.
— — casquillos de goma, 365.
— — tiras de goma, 365.
— de garras, 364.
— — manguito, 363.
— — platillos, 364.
— dentados, 364.
— elásticos, 364.
—, embragues, 365.
—, — especiales, 366.
— embridados, 364.
—, funcionamiento de, 362.
— móviles, 364.
— rígidos, 363.
Adherencia, 42, 263.
—, rozamiento de, 114.
Adhesivos, 263.
— como seguro para tornillos, 249.
Afino, 49.
— al horno, 50.
Aglomerante, flexión, 223.
Agujero sistema único, 344.
Aire a presión, generación de, 333.
— comprimido, preparación del, 333.
Aislamiento protector, 402.
Ajuste, 341.
— a presión, 344.
—, elección del, 345.
— holgado, 343.
— indeterminado, 343.
—, sistemas de, 344.
—, tipos de, 343.
Ajustes, calibres para, 18.
Alargamiento de rotura, 98.
Aleación, 43.
—, cristales mezcla, 44.
—, curva de solidificación, 44.
—, dureza y resistencia, 44.
—, elementos de, 48.
—, estructura de una, 43.
—, mezcla de cristales, 44.
—, planos de desplazamiento, 44.
Almacenamiento en caliente, 289.
Alta aleación, acero de herramientas de, 176.
Alta frecuencia, soldadura por, 281.
Aluminio, 55.
—, aleaciones de, 55, 56.
—, — —, temple, 288.
Amortiguación, cilindro con, 318.
Amperímetro, 389.
Amperio, 3, 389.
Análisis, 36.
Analógica, indicación, 17.
Ángulo de ataque, 150, 167.
— de filo, 167.
— despullo, 167.
— — inclinación en las herramientas de tornear, 168.
— — posición, 168.
Ángulos, instrumentos de medición, 19.
Anillo cortante y cónico, 326.
— excéntrico, ejecución en bombas de paletas, 313.
— ovalado, ejecución en bomba de paletas, 313.
Anillos de fieltro, 362.
— — seguridad, 255.
— elásticos, 255.
— engrasadores, 357.
— Seeger, 255.
Anodizado, 86.
Ánodo, 396.
Antifricción metales, 63.
Aplanar, 133.
Aproximación, movimiento de, 164.
Arandelas, 246.
— de metal ondulado, 225.
— — seguridad, 255.
Árbol con chavetas, 257.
Árboles, 353.
— cigüeñales, 353.
— de engranaje, 353.
— — mecanismos de accionamiento, 353.
—, formas de, 353.
Arco voltaico, 275.
Aros de émbolo (segmentos), 362.
Arranque de la viruta, fuerza de, 176.
Aserrado, 152.
—, formación de viruta en, 152.

Aserrado, prevención de accidentes, 154.
Asiento cónico, 254.
Átomo, 34, 36.
—, estructura del, 34.
—, tendencia enlace, 37.
Atornillar, herramientas para, 240.
Austenita, 285.
Autobloqueo roscas, 241.
Automatización de la fabricación, 293.
Avance, 160, 169, 176, 192, 205, 212.
— en el cepillado, 214.
— — — fresado, 192.
— — — mortajado, 212.
— — — taladrado, 205.
—, fuerza de, 176.
Avellanador, 207.
— hueco, 204.

Bandas, designaciones para, 75.
Baño de soldadura, 276.
Barra, aceros en, 77.
Bastidor, 169.
Bloques de soldadura, 269.
Bomba impelente, funcionamiento, 312.
— de caudal constante, 314.
Bombas de émbolo axiales, 314.
— — engranajes, 313.
— — paletas, 313.
— hidráulicas, 313.
—, principio del desplazamiento en las, 311.
— regulables o de caudal variable, 314.
—, símbolos para, 314.
Bonificado del acero, 288.
Bonificados, aceros, 74.
Brinell, ensayo de dureza, 99.
Broca de un solo filo, 204.
— helicoidal, 202.
— para taladrado hueco, 204.
—, rotura de la, 206.
Brocha, 219.
Brochado, 219 y ss.
—, formación de viruta en, 219.
—, procedimiento de, 219.
Brochadoras, 220.
—, accionamiento hidráulico en las, 220.
Bruñido de carrera corta, 231.
— — — larga, 231.
Brutos, formación de, 126 y ss.
Bulones, 255.

Cabeza avellanada, remache de, 259.
— de hongo, remaches de, 260.
Cabezal del husillo, 169.
Cadena, rueda de, 377.
—, transmisión por, 376.
Cadenas motrices, 376.
Caída libre, 110.
Caja inferior (moldes), 127.
Calado, 239.
Calado, unión a presión mediante, 346.
Calibre de compás para roscas, 244.
— — recepción, 19.
— — tolerancias para exteriores, 9, 18.
Calibres, 3, 18, 184.
— de ángulos, 19.
— — cotas, 18.
— — formas, 18.
— — recepción, 19.
— — redondeamientos, 18.
— — revisión, 19.
— — verificación, 19.
— macho, 4, 5, 18, 243.
— para ajustes, 18.
— — roscas, 244.
—, tolerancias, 19.
Calidad, grupos de, 72.
Calor, 121.
—, dilatación por el, 30, 123.
Cámara caliente, método, 129.
— fría, método de la, 129.
Cambio de velocidades, esquema de, 375.
— — — principal, 169.
Campana de centrar, 23.
Campo magnético, 397.
Campos de tolerancia, posición de los, 342.
Candela, 2.
Cantidad de calor, 123.
Carbonitruración, 290.
Carburación, 290.
Carburo de hierro, 285.
— — —, cristales de, 285.
Cargas elementales, 387.
Carrera de retroceso, 216.
— — trabajo, 216.
—, longitud de la, 215.
—, posición de la, 215.
Carreras rápidas y avance, esquema mando, 330.
Carro (cepilladoras), 213.
— de bancada, 170.
— superior, 170.
— transversal, 170.
Carros de la herramienta, 170.
Casquillos de cojinete, 357.
— — tensión, 252.
Cátodo, 396.
Caudal, 126, 319.
—, regulación del, 317.
Cementación, 290.
—, aceros de, 74.
Cementita, 284.
—, cristales de, 284.
Cepillado, 213 y ss.
—, avance en el, 212.
—, ejemplo de trabajo, 217.
—, profundidad de corte, 21.
—, velocidad de corte, 212.
Cepilladora, 213.
Cepilladora, accionamiento del avance, 214.
Cerámica de corte, 65, 176.
Cermets, 66.
Cierre, tipo de (uniones), 239.
Cigüeñales, 353.
Cilindrado, 182.
— longitudinal, 182.
— transversal, 182.
Cilindro, 317.
— con amortiguación, 318.
— de doble efecto, 318.
— — simple efecto, 317.
— diferencial, 318.
— telescópico, 318.
Cilindros neumáticos, 334.
Cinc, 60.
—, aleaciones de, 61.
Cincelado, herramientas de, 151.
—, trabajos de, 151.
Cinceles, 151.
Cinta perforada, 298.
Circuito de circulación, 330.
— eléctrico, protección con hilo fusible, 393.
Circulación al vacío, procedimiento de, 52.
Cizalla, 145.
— circular, 148.
— manual para chapa, 147.
Cizallado, 145.
—, trabajo de, 148.
Cizallas, 147.
— curvadas, 148.
— de palanca, 147.
Clases de acero, 67.
— — —, designación, 67.
— — —, subdivisión, 67.
Cloruro de polivinilo, 90.
Cobre, 58.
—, aleaciones de, 59.
Cohesión, 42, 263.
Cojinete de cuñas múltiples, 355.
—, desmontaje con aceite a presión, 361.
—, soporte recto, 355.
—, — — partido, 355.
Cojinetes, clases de, 355.
— de fricción, 354 y ss.
— — —, montaje y mantenimiento, 358.
— — —, reajustables, 355.
— — ojo, 355.
—, disposición, 355.
—, materiales, 356.
Cola, 263.
Colabilidad, 32.
Colada al vacío, 52.
—, procedimientos de, 52.
Combinaciones, uniones, estructuras de las, 36.
—, —, por formas, 239.
—, —, — fuerzas, 239.
—, —, — materiales, 239.

Combinaciones, uniones, químicas, 36.
Comparador, 12.
— de precisión, 13, 14, 15.
Comparativa, medición, 6.
Compás, 8.
— de puntas, 23.
Compresión, fuerzas de, 131.
—, — — conformación por, 131.
Compresor de paletas, 333.
—, helicoidal, 333.
Crompesores de émbolo, 333.
— — émbolos rotativos, 333.
—, tipos de, 333.
Conductividad térmica, 38.
Conductor de protección, 403.
— eléctrico, 389.
Conexión en paralelo, 392.
— — serie, 391.
Conexiones, esquema de (hidráulicas), 323, 328, 329.
Conformación en estampa, 133.
— por compresión, 131.
— — estirado de deslizamiento, 135.
— — extrusión, 134.
— — fuerzas contracción y compresión, 131.
— — plegado, 137.
— sin estampa, 131.
—, unión, 259.
Conformadoras, 141.
Conservación de la energía, 117.
Consistencia, textura (abrasivos), 223.
Construcción, aceros de, 71.
Contactos de seguridad, 403.
Contracción de solidificación, 129.
— lineal, 129.
—, unión a presión mediante, 346.
Control a voluntad, 335.
— CNC, 304, 306.
— dependiente del recorrido, 335.
— — — tiempo, 335.
— DNC, 308.
—, equipo de accionamiento, 315.
— hidráulico, 309.
— —, accesorios, 323.
— horario, 293.
— NC, 299.
— numérico, 299, 306.
— para el seguimiento de trayectorias, 304.
—, por guía, 294, 295.
— — —, eléctrico, 295.
— — —, electrohidráulico, 295.
— — —, hidráulico, 294, 295.
— — —, mecánico, 295.
— — programa eléctrico, 296.
— programado fresado, 195.
— punto a punto, 303.
— secuencial, 294.
—, técnicas, 293.
—, tipos de, 294.
Control, unidad de, 306.
Convertidor de soldadura, 277.
Coquilla, 128.
Cordón de soldadura, 274.
Correa dentada, transmisión por, 379.
— plana, transmisión por, 378.
Correas planas, materiales de la, 378.
— trapeciales, transmisión, 379.
— —, poleas para, 379.
Corredera de herramientas, 214.
— oscilante, 216.
Corriente, 126.
— alterna, 278, 392.
—, clases de, 392.
— continua, 277, 392.
— de cortocircuito, 393.
— — sobrecarga, 393.
— eléctrica, 388.
— laminar, 126, 325.
—, medidor de, 389.
— trifásica, 392.
— —, generadores de, 399.
— —, motores de, 400.
— turbulenta, 126.
Corrosión, 81.
—, clases de, 84, 85.
—, protección catódica, 86.
—, — contra la, 85.
Corte con cuña, 143, 144.
— — —, herramientas de, 144.
— — —, proceso de, 144.
— de forma, 148.
—, materiales de, 176.
— mordiendo, 145.
—, movimiento de, 162.
— por arranque de viruta, 143.
— — cuchilla, herramienta, 148.
— — electroerosión, 234.
—, trabajos de, 234.
Cristales mezcla, 44.
Cuadro de maniobra, de entrada manual, 306, 307.
Cuchilla, corte por, 145.
— de cizalla, ángulo de inclinación de, 147.
Cuchillas de torno, valores de los ángulos de las, 167.
Cuerpos sólidos, 30.
Cuña, ángulo de, 150, 167.
— de corte, 143, 150.
Cuñas de sujeción, 217.
Curva de solidificación de una aleación, 44.
Curvado con cilindros, 139.

Chapa, designaciones para, 75.
—, fabricación de, 131.
—, plegado de, 137.
Chaveta cóncava, 253.
— de guía, 256.
— — talón, 253.
— embutida, 253.
Chaveta plana, 253.
— transversal, 253.
Chavetas, 253.
— de empuje, 253.
— — media luna, 256.
— tangenciales, unión por, 253.
—, tipos de, 253.
Chaveteros, 257.
— de árbol, 257.
— — cubos, 257.
Chispa, ensayo de la, 96.

Dedos de sujeción, 217.
Deformación elástica, 42.
— plástica, 42.
Densidad, 31.
Dentado, 369.
—, fresado del, 369.
—, — por generación, 369.
—, mortajado por generación, 369.
—, rectificado por generación, 369.
Desbaste, 182.
Descomposición de fuerzas, 113.
Desequilibrio, 383.
— dinámico, 384.
— estático, 384.
Desgaste, 241.
Designaciones del acero, designación de las, 68, 69.
Desoxidación, tipo de, 72.
Destalonado, 174.
Destornillador, 240.
Diagrama de flujo de potencia, 376.
Diálogo, 304.
Diamantes industriales, 176.
Dientes, formas de los, 367.
Diferencia de presión, 317.
— — —, procedimiento de (medición), 16.
— — velocidades, procedimiento de medición, 16.
— (entre medidas), 341.
— (— —), inferior, 341.
— (— —), superior, 341.
Diferencial, cilindro, 318, 338.
Digital, indicación, 17.
Dilatación por calor, 30.
—, unión a presión mediante, 346.
Direccionales, válvulas, 318.
Disco distribuidor, válvula de, 334.
Discos abrasivos, 223.
Dispositivos de corte, 168.
— — —, por intensidad en defecto, 403.
Distribución de barras cruzadas de coordenadas, 298.
Disyuntor, 393.
División de compensación, 197.
— diferencial, 197.
— directa, 196.
— indirecta, 196.

División, procedimientos de, 196.
Doblado en redondo, 139.
Doble efecto, cilindro de, 318.
Dureza, 33, 42.

Efecto de soplado (soldadura), 277.
Eje de transmisión, 169.
— único, sistema, 344.
Ejes, 353.
—, formas de los, 353.
— perfilados, 256.
Elasticidad, 33.
Elastoplásticos, 87.
Electricidad, efectos caloríficos de la, 396.
—, — magnéticos de la, 397.
—, — químicos de la, 396.
—, primeros auxilios a accidentados, 402.
Electrodos de varilla, 276.
— revestidos, 276.
Electroerosión, instalación de, 235.
Electroimán, 397.
Electrólito, 84, 396.
Electrones, 34, 387, 388.
Electroquímica, erosión, 237.
Electrotecnia, 387 y ss.
Elemento galvánico, 84.
Elementos, 34.
— calefactores, soldadura por, 281.
—, sistema periódico, 35.
—, subdivisión, 35.
—, valencia, 39.
Embrague centrífugo, 366.
— de conos, 366.
— — sobrepaso, 366.
Embragues de láminas, 366.
— monodisco, 366.
Embutición profunda, 90, 136.
Embutir, herramienta de, 136.
Empuje hacia arriba, 125.
Enderezado, 139.
— con cilindro, 140.
— en estampa, 140.
— por calentamiento, 140.
— — estirado, 140.
— — flexión, 140.
Energía, 116.
Enfriamiento brusco, 286.
Engatillado, 262.
Engranaje, árboles de, 353.
— de cambio de ruedas, 374.
— — corazón de inversión, 373.
— sin fin, 372.
Engranajes de rueda dentada y cremallera, 371.
—, escalonamiento de los, 374.
— variables escalonadamente, 374.
— variadores de velocidad, 373.
— — — — de cambio, 373.
— — — — corazón inversor, 373.
— — — — ruedas corredizas, 373.
Engranajes variadores de velocidad de variación escalonada, 374.
— — — — PIV, 381.
Enlace atómico, 38.
— de pares de electrones, 38.
— iónico, 37.
— metálico, 38.
Ensanchamiento, prueba, 96.
Ensayo de embutición profunda, 96.
— — la chispa de esmerilado, 100.
— — materiales, 96.
Ensayos de dureza, 97.
— — — Brinell, 99.
— — — Rockwell, 100.
— — — Vickers, 100.
Entrada manual cuadro de maniobra de, 306, 307.
—, unidades de, 306.
Envejecimiento, 289.
— en frío, 289.
Equilibrado, 225, 383.
Equilibradora, 384.
Erosión electroquímica, 237.
— térmica, 234.
— — por chispas eléctricas, 235.
— — — gas, 234.
Escala graduada, 5.
—, valor mínimo de la, 5, 12.
Escariado, 158, 202 y ss., 207.
—, proceso de, 158.
Escariadores, 159.
Escuadra de centrar, 23.
— — filo, 19.
— — talón, 19.
— plana, 19.
Esfuerzo cortante, 120.
Esmerilado, imágenes de, 102-103.
Espárrago, 245.
Espigas, 354.
Esquema de circuito, 387.
— — conexiones, 387, 390.
Estampa, 133.
Estaño, 61.
—, aleaciones de, 62.
—-cinc, acciones protectoras, 86.
Estirado, 133, 135.
— (plásticos), 90.
— por laminación, 135.
Estrangulación válvula antirretorno con, 321.
Estrías de retención, 362.
Estructura reticular, 41.
Euronorm, 67.
Exactitud de formas, 183.
Expansión, remaches de, 261.
Exteriores, tornillo micrométrico para, 11.

Fabricación, automatización de la, 293.
—, procedimientos de, 107.
—, — — (uniones), 239.
Ferrita, cristales de, 284.
Fibra de vidrio, plásticos reforzados con, 93.
— neutra, 136.
Filo indeterminado geométricamente, 222.
Filtrado en la medición de la rugosidad, 348.
Filtro, 324.
— de ondas, 350.
Flanco de diente, 368.
Flecha de corriente, 389.
— — tensión, 389.
Flexión, 96.
—, ensayo de, 96.
Flujo magnético, 398.
—, velocidad de, 126.
Forja, 131.
—, soldadura a la, 271.
—, temperatura de, 132.
Forjar, 104.
—, herramientas de, 132.
Formas, calibres de, 18.
Fosfatado, 86.
Fragilidad, 33.
Fresa, 191.
—, afilado, 199.
— de dientes aguzados, 191.
— — — fresados, 191.
— — planeo perimetral, 191.
— — — — y frontal, 191.
— destalonada, 191.
—, formas, 191.
—, fuerzas que actúan sobre la, 195.
—, sujeción de la, 195.
Fresado, 191 y ss.
—, avance, 192.
— de vaivén, 194.
—, ejemplo de trabajo de, 200.
— en sentido contrario al avance, 191.
— — — del avance, 191.
— — — — —, dispositivo, 194.
— helicoidal, 199.
—, profundidad de corte, 193.
—, valores de mecanizado, 192.
—, velocidad de corte, 192.
Fresadora, 193.
— de consola, 193.
— — filetes largos, 242.
Fretz-Moon, método, 138.
Fuentes de información, 300.
Fuerza centrífuga, acción de la, 383.
— de corte (cizallado), 145.
—, multiplicación, 311.
— normal, 241.
—, unidad, 112.
Fuerzas, 112.
— actuantes en las herramientas de torneado, 176.
— de unión, 240.
—, ley de acción y reacción, 112.
—, representación gráfica, 113.

Fundente, 266.
Fundición, 52, 126 y ss.
— a presión, 128.
— — —, procedimiento de, 128.
—, bloques, 52.
— centrífuga, 128.
— compound, 129.
— continua, 52.
— de hierro, 53.
— — — con grafito esferoidal, 53, 77, 78.
— — — — — laminar, 53, 77, 78.
— defectos en la, 130.
— dura, 53.
— estática, 128.
— maleable, 53, 77.
—, procedimientos de, 126.
Fusión a gas, soldadura por, 271, 272, 282.

Galgas, 9.
— angulares, 20.
— paralelas, 9.
Galvanización, 396.
Garras de sujeción, 217.
Gases, 30.
— nobles, 35.
Gato hidráulico, 312.
Generadores de corriente alterna, 398.
— — — trifásica, 399.
Geometría del corte, 166.
Germar, diagrama de, 376.
Grado de dureza (abrasivo), 223.
Gramil, 23.
Graneteado, 24, 261.
Granulación, 223.
Guías de bancada, 170.
Guitarra de ruedas, 373.

Herramienta, sistema de referencia de la, 167.
Herramientas, acero de, 75, 176.
— de corte, 148.
— — — completo, 149.
— — —, con columnas de guías, 149.
— — — — guía, 149.
— — — — — placa, 148.
— — — progresivo, 149.
— — — sin guía, 149.
— — tornear, 173.
— — —, fuerzas sobre las, 176.
Hidráulica, 332.
—, comparación con la neumática, 331.
Hidráulico, control, 309.
—, ejemplos de conexiones, 328.
—, funcionamiento, 333.
—, gato, 312.
Hidrodinámica, 310.
Hidrostática, 309.
Hierro bruto, 46.
Hierro bruto, obtención del, 46.
—, minerales de, 44.
Horno de arco, 51.
— — baño de fusión, 286.
— — inducción, 51.
—, soldadura al, 269.
Husillo de trabajo, 169.

Imán, 397.
— permanente, 397.
Impermeabilización de las uniones roscadas, 249.
Indicación, 5.
— analógica, 17.
— digital, 17.
Inducción, principio de la, 398.
—, soldadura por, 269.
Inercia, 31.
Influencias electroquímicas sobre metales, 84.
— químicas sobre los metales, 81.
Inmersión, soldadura por, 269.
Inoxidables, aceros, 75.
Inseguridad de medición, 6.
Instalación de las máquinas herramienta, 172.
Instrumentos de medición, 3.
— — — de ángulos, 19.
Intensidad en defecto, dispositivo de corte por, 403.
Interiores, tornillo micrométrico, 11.
Investigación con rayos X, 104.
Inyección de oxígeno, procedimiento de, 50.
—, procedimiento de (plásticos), 90.
Iones, 387.
Irregularidades de forma, superposición de las, 347.
—, profundidad individual máxima de las, 348.
ISO-Rosca fina, 160.
—, tolerancias, 341.

Julio, 394.
Juntas piezas redondas, 361.
— de intersticio, 362.
— dinámicas, 361.
— tóricas, 250.
— conformadas, 250.
—, masilla de, 249.
—, materiales de, 249.
— planas, 249.
—, soldadura de, 267, 268.

Kelvin, 2.
Kilogramo, 2.
Kilovatio/hora, 394.

Laberinto axial, 362.
Lapeado, 232.
Lapeado cilíndrico, 232.
— plano, 232.
—, procedimientos de, 231.
—, proceso de, 232.
Lavado en electroerosión, 236.
Lejías, 82.
Ley de la palanca, 115, 146.
— — Ohm, 391.
Libres, tolerancias, 13.
Limas, 154.
— fresadas, 154.
—, picado, densidad, 155.
—, —, valor, 155.
—, prevención de accidentes, 157.
— talladas, 154.
—, tipos de picado, 155.
Línea cero, 341.
— de tensión, 277.
Lineal, contracción, 129.
Líquidos, 30.
Lobulado, unión por, 262.
Lubricación, 354.
— refrigerante, 232.
Lubricante, 354.
—, conducción del, 356.
—, fuerzas en el, 354.
Luneta, 179.
— fija, 179.
— móvil, 179.

Llama de soldar, 274.
Llave dinamométrica, 240, 247.
Llaves de tuerzas, 240.

Magnesio, 57.
—, aleaciones de, 57.
Magnitud física de la fuerza, 112.
Magnitudes a medir, 4.
— fundamentales, 1.
Maleabilidad, 32.
Mando alternativo, 336.
— de secuencia, 330.
— — — dependiente presión, 336.
— secuencial, dependiente de recorrido, 336.
Mandriles de fijación, 179.
— — pinzas, 179.
Mandrinado, ejemplo de trabajo de, 210.
Mandrinadora-fresadora horizontal, 209.
Manómetro, 324.
Mantenimiento, 357.
— de cojinetes de fricción, 357.
— — las máquinas-herramienta, 172.
—, unidad de, 333.
Máquinas-herramienta, 165.
—·—, instalación, mantenimiento, 172.
—·—, movimiento de trabajo en las, 165.
—·—, procesos de arranque de viruta en las, 164.

Máquinas, piezas de, 353 y ss.
—, subdivisión, 163.
Mármol de trazar, 23.
Marmoleado, 157.
Masa, 31.
Máscara, procedimiento de moldeo con, 127.
Masilla, 262.
Material, números, 68.
Materiales combinados, 93.
— fundidos, 71.
— —, designación de los, 77.
—, modificación propiedades de los, 284 y ss.
—, subdivisión de los, 29.
Mecanizabilidad, 33.
Medición, 5, 303.
— absoluta, 5.
— analógica del desplazamiento, 303.
— comparativa, 303.
— de conos, 22.
— — longitudes, 9, 10.
— del desplazamiento, analógica, 303.
— — —, digital, 303.
— digital absoluta del desplazamiento, 303.
— directa, 5.
— electrónica de longitud, 17.
—, errores de, 6, 7.
— indicadora de valores absolutos, 303.
— — del incremento, 303.
— indirecta, 6.
— por diferencia, 6.
— relativa, 6.
—, valor de, 4, 5, 10.
—, vástago de, 9.
Medida nominal, 4, 13, 341.
—, palpador de, 17.
Medidas, exactitud de, 184.
— límite, 4, 341.
— nominales, campos de, 342.
Memoria, levantamiento de, 306.
Merma por combustión, 132.
Mesa de senos, 22.
Metales duros, 65, 176.
—, estructura cristalina de los, 41.
—, influencias electroquímicas sobre los, 84.
—, — químicas sobre los, 81.
— ligeros, 55.
— no férreos, designación, 78.
—, pegamento para, 264.
— pesados, 58 y ss.
Metro, 2.
Mezcla de cristales, 44.
Microprocesador, 306.
Modelo atómico, 34.
Modificación de las propiedades de los materiales, 284 y ss.
Mol, 2.
Molde lleno, método de, 128.
Moldeado, 48, 53, 77.
Moldeo, métodos de, 126.
Moldes, formación de los, 127.
— perdidos, 126.
— permanentes, 128.
Molécula, 37.
Moleteado, 183.
Momento torsor, 115.
— — de apriete, 240.
Mortajado, 212 y ss.
—, avance en el, 212.
—, profundidad de corte en el, 212.
—, velocidad de corte en, 212.
Mortajadora horizontal, 215.
— vertical, 215.
Mortajadoras, 215.
Motores, 399.
— eléctricos, 399.
— asincrónicos, 400.
— de corriente continua, 399.
— — — trifásica, 400.
— hidráulicos, 314.
— universales, 400.
Movimiento, 108.
— circular uniforme, 110.
— efectivo, 164.
— rectilíneo con velocidad constante, 108.
— — — — variable, 108.
—, rosca de, 160.

NC, control, 299.
—, —, dispositivo datos, 301.
—, —, fuentes de información, 300.
Neumática, componentes neumáticos, 334.
—, comparación con la hidráulica, 331.
—, funcionamiento, 331.
—, válvulas distribuidoras, 334.
Neutrones, 34.
Nitruración, 290.
—, aceros de, 74.
Nivel para ángulos, 21.
No aleados, aceros, 48, 68.
— conductores, 389.
Nonius, 10.
— angular, 20.
Normalización, 67.
Numérico, control, 299.

Ondulación de chapas, 139.
— superficie, 347.
Oxidaxión, 132.
Óxido, capa de, 266.
—, formación de, 81.
Óxidos, 45.
Oxígeno, 272.
—, combinaciones con el, 39.

Palanca, acción de, 146.
Palpador de medición, 17.
—, sistemas de exploración, 350.
Panel de clavijas, 297, 298.
Par cónico, 371.
— de fuerzas, 115.
— — ruedas interiores, 371.
Paralaje, 7.
Paralelogramo de fuerzas, 113.
Pasador de aletas, 255.
Pasadores, 252.
— cilíndricos, 252.
— cónicos, 252.
— de tensión, 252.
— estriados, 252.
Paso de los dientes de sierra, 152, 153.
— — rosca, 241.
Patín palpador, sistema de, 350.
Patrones, 9.
Pavonado, 86.
Pegado, 262.
Pegamento, 263.
— de dos componentes, 264.
— — un componente, 264.
— en caliente, 264.
— — frío, 264.
— para metales, 264.
Perdidos, moldes, 128.
Perfil poligonal, 256.
—, profundidad del, 348.
—, registro del, 349.
Perfilado en cilindros, 139.
Perfiles de acero, 76.
— — rosca, 161.
— laminados de acero, fabricación de, 131.
Pernos de sujeción, 217.
Peso, 31.
Picado de las limas, tipos de, 155.
Pie de rey, 10.
— — — para profundidades, 11.
PIV, engranajes variadores de velocidad, 381.
Placa de maniobra (tornos), 170.
Placas de corte, 174.
Plano inclinado, 118.
Planos de desplazamientos, 44.
Plantillas, 23, 24.
—, trazado con, 23, 24.
Plaquitas de corte reversible, 174.
Plasma, 276.
Plasticidad, 33.
Plástico, moldeado por prensado, 89.
Plásticos, composición química de los, 87.
—, conformación, 92.
—, cuadro-resumen, 95.
—, mecanización por arranque de viruta, 92.
—, pegado de los, 92.
— reforzados con fibra de vidrio, 93.
—, soldadura de, 281.

Soldadura, subdivisión y propiedades, 87.
— termoestables, 87.
— termoplásticos, 87.
Platillo, válvula de, 334.
Plato de sujeción (tornos), 180.
— universal de cuatro garras, 178.
— — — tres garras, 178.
Plegado a tracción, 138.
— con bigornia, 138.
— libre, 137.
— por arrollamiento, 138.
—, procesos, 136.
Plomo, 62.
—, aleaciones de, 63.
Poliamida, 91.
Polietileno, 91.
Polvo magnético, campo del, 104.
Portabrocas, 204.
Portaherramientas, 170, 177.
—, tapas de los, 214.
Posicionamiento, 164.
Potencia, 117, 394.
— eléctrica, 394.
— mecánica, 117, 395.
Prensas, 141.
— de cigüeñal, 141.
— — excéntrica, 141.
— — extrusión, 134.
— — husillo, 141.
— — rodillera, 141.
— hidráulicas, 141.
Presión, 119.
— de gravitación, 124.
— hacia arriba, 125.
— hidrostática, 312.
— multiplicación de la, 310.
— multiplicador de, 318.
—, procedimientos de la medición de la, 16.
—, soldadura a, 271.
—, válvulas reguladoras de, 329.
Prevención de accidentes, 273, 282.
Principio del desplazamiento bombas, 311.
Procedimiento de penetración, 104.
— Siemens-Martin, 50.
Procedimientos de medición, 16.
— — — de la presión, 16.
— — — — — rugosidad superficial, 349.
— — — neumáticos, 16.
— — — por diferencia de presiones, 16.
— — — — — — velocidades, 16.
— — — — volumen, 16.
— — reducción directa, 46.
Profundidad de carga, 241.
— — corte, 193, 212.
— — — en el cepillado, 213.
— — — — — fresado, 193.
— — — — — mortajado, 212.
Profundidades, pie de rey para, 11.
Programa, control por, 296.
—, — —, mecánico, 295, 296.
Propagación de la presión, 310.
— del calor, 123.
Protones, 34, 387.
Prueba de la lima, 96.
Puesta a tierra, 403.
Punta de trazar, 23.
Punto a punto, control, 303.
Purga, 326.
PVC blando, 91.
— duro, 90.
Racorería, 326.
Radián, 19.
Radio de curvatura, 137.
Ranura, soldadura en, 265, 268.
Rasqueta, 157.
Rasqueteado, 157.
Rebajado, avellanado, 202 y ss.
—, —, ejemplo de trabajo, 212.
—, embutición, por electroerosión, 236.
Rebajar, 133.
Rebordeado, 261.
—, ensayo de (tubos), 97.
Recalcado, 133.
— en molde, 134.
Recocido de ablandamiento, 288.
— — eliminación de tensiones internas, 288.
— del acero, 288.
— normal, 288.
Recorrido, control por, 295.
—, multiplicación del, 311.
Recrecido del filo de corte, 169.
Rectificado, 222, 225.
— cilíndrico, 225.
— — exterior y longitudinal, 225.
— — — — transversal, 225.
— de acabado, 226.
— — desbaste, 226.
— — perfiles, 226.
—, ejemplo de trabajo de, 229.
— lateral, 225.
— longitudinal, 225.
— periférico, 225.
— — longitudinal, 225.
— — transversal, 225.
— plano, 225.
— por generación, 226.
—, procedimientos de, 225.
— vibratorio, 231.
Rectificador de soldadura, 277.
— (mando hidráulico), 323.
Rectificadora cilíndrica, 228.
— — de exteriores, 228.
— —, sin centros, 229.
— — universal, 229.
— plana, 227.
— universal, 228.
Rectificadoras, 226.
Rectificar, cuerpo de, 224.
Recubrimiento metálico, 85.
— no metálico, 85.
— químico, 86.
Red, 286.
— centrada en el cuerpo, 286.
— — — las caras, 286.
Reducción, 45.
— de los óxidos de hierro, 46.
— — óxidos metálicos, 45.
— directa, 46.
Refrentado, 182.
— longitudinal, 182.
— transversal, 182.
Refundición, procedimiento de, 51.
Regla de senos, 22.
— graduada, 8.
Regulación, 293.
Remachado, 259.
—, defectos de, 261.
Remache de cabeza avellanada, 259.
— — — de hongo, 260.
— — — semiesférica, 259.
— hueco, 260.
Remaches, 259.
— ciegos, 261.
—, termoremaches, 261.
Rendimiento, 118, 395.
Repujado, 133.
Resbalamiento, 378.
Resiliencia por flexión, ensayo, 98.
Resistencia, 33, 389.
— a la tracción, 97.
—, clases de, 246.
— eléctrica, 389.
— específica, 390, 391.
— reductora, 392.
Retención, 320.
Retenes, 362.
Revenido, 287.
Revisión, calibres de, 19.
Revoluciones, diagrama del número de, 376.
—, n.º de, 110, 180.
—, regulación continua de, 381.
—, serie aritmética, 374.
—, — geométrica, 375.
—, variación del número de, 111.
Rockwell, ensayo de dureza, 100.
Rodadura, rozamiento por, 358.
Rodamientos, 358 y ss.
—, constitución de los 358.
—, constitución de los, 358.
—, engrase de los, 361.
—, fijación de los, 359.
—, mantenimiento de los, 361.
—, montaje y desmontaje de los, 360-361.
—, tipos de, 358.
Rodillo tensor, transmisión, 378.

Rosca de fijación, 160.
— en diente de sierra, 161.
— ISO, 160.
— métrica ISO, 160.
— redonda, 161.
— trapecial, 161.
Roscado, 161, 183.
— con peine, 183, 242.
Roscas, 159.
—, ajuste de, 243.
—, anillo calibre, 243.
—, calibre macho, 243.
— — movimientos, 160.
—, dimensiones de las, 242.
— exteriores, corte de, 162.
—, fabricación a máquina de, 242.
— finas ISO, 160.
—, forma de las, 159.
—, fresadoras de, 242.
—, fuerzas actuantes en las, 240.
—, galga de, 244.
— interiores, corte de, 161.
—, laminado de, 242.
—, rodillos, 242.
—, medición de, 244.
—, medidas principales, 160.
—, número de hilos, 160.
—, rectificado, 242.
—, sentido de giro, de paso, 160.
—, talladora de, 242.
—, torbellino, tallado, 242.
—, torneado de, 183, 186.
—, verificación de, 244.
— Whitworth, 160, 161.
— — para tubos, 160, 161.
Rozamiento, fricción, 114, 354.
—, —, de adherencia, 114.
—, —, de rodadura, 114.
—, —, en líquido, 354.
—, — mixta, 354.
—, — seca, 354.
—, fuerza de, 241.
—, índice de, 114.
Ruedas cilíndricas, 370.
— — con dentado recto, 370.
— — — — oblicuo, 370.
— — — — — doble, 370.
— —, pares de, 370.
— dentadas, 367 y ss.
— —, dimensiones de las, 368.
— —, emparejamiento de, 370.
— helicoidales, pares de, 370.
Rugosidad, anotación de los parámetros de, 348.
—, cotas de, 348.
—, medición de los valores de, 349.
—, profundidad de la, 348.
—, — — —, individual máxima, 348.
—, — — —, máxima, 348.
—, — media, 349.
Rugosidad superficial, 184.
— —, procedimiento de verificación, 349.
—, superficie, 347.
— valor medio aritmético de la, 349.

Salida, unidades de, 306.
Seccionado, 143.
Semicojinetes, 355, 357.
Seguimiento de trayectorias, control para, 304.
Segundo, 2.
Seguro para tornillos, adhesivos, 249.
Separación de materiales, 143.
— protectora, 402.
Sierra circular, 154.
— de cinta, 154.
Sierras de mano, 153.
— mecánicas, 153.
Símbolos de fundición, 77.
Simple efecto, cilindro de, 317.
Sinterizada, estructura, 63.
Sinterizado, 63.
Sinterizados materiales, 63, 64.
Síntesis, 36.
Sistema de coordenadas, 209.
— — referencia efectivo, 167.
— — superficies de referencia, 351.
— periódico de los elementos, 35.
Sobremedida de rectificado, 226.
Soldabilidad, 33.
Soldador de propano, 268.
Soldadura, 270.
— a derechas, 275.
— — gas, 272, 282.
— — izquierdas, 275.
— — la forja, 271.
— — — llama, 269.
— — presión, 271.
— — — por resistencia, 271, 282.
— — tope, 274.
— — — por penetración, 280.
— — — — presión, 280.
—, ácido de, 266.
—, al arco, 271, 275, 282.
— — — con electrodo metálico, 275.
— — — gas protector, 278.
— bajo polvo, 278.
— blanda con metal, 265.
— —, metal de, 62.
— — metales, 266.
— —, realización, 274.
— con electrodo de wolframio plasma, 279.
— — — metálico, gas protector, 279.
— — gas protector, 278.
— — metal de aportación, 267.
— — — — — blanda, 265.
— — — — — de bloques, 269.
— — — — — fuerte, 267.
— — — — — horno, 269.
— — — — — inducción, 269.
Soldadura con metal de aportación, juntas, 266, 268.
— — — — — por inmersión, 269.
— — — — —, procedimientos de, 267.
— — — — — ranura, 266, 268.
— — — — — recargue, 269.
— de plásticos, 281.
— dura con metal de aportación, 266.
— en una pasada, 274.
—, equipo de, 268.
— fuerte metales, 267, 268.
— MAG, 279.
—, materiales para, 266.
—, metales de, 266, 267.
— MIG, 279.
— por alta frecuencia, 275.
— — arco de plasma, 282.
— — elementos calefactores, 281.
— — fricción, 281.
— — fusión, 271.
— — — a gas, 271, 282.
— — — con arco, 275, 276, 282.
— — gas caliente, 281.
— — laminación, 271.
— — puntos, 280.
— — roldanas, 280.
— ultrasonidos, 281.
—, procedimiento de, 270.
— WIG, 279.
Solidificación, contracción de, 129.
Sonido, prueba del, 96.
Soplete de oxicorte, 234.
— — soldar, 274.
Sujeción de las piezas (torneado), 178.
Superacabado, 231.
Superficies, cotas de, 348.
—, diferencia forma, 347.
—, errores de las, 347.
—, forma de las, 347.
— técnicas, 347 y ss.

Taladrado, 202 y ss.
—, avance en el, 205.
—, defectos de, 206.
—, herramientas de, 202.
— por electroerosión, 235.
—, procedimientos de trabajo, 202.
—, proceso arranque virura en el, 204.
—, trabajo de, 206.
—, velocidad de corte en el, 205.
Taladradora de columna, 208.
— — husillos múltiples, 208.
— radial, 208.
Taladradoras, 208.
Técnica CNC, 304.
— NC, 304.
Telescópico, cilindro, 318.
Temperatura, 121.
— de condensación, 31.
— — ebullición, 31.

Temperatura de fusión, 30.
— — solidificación, 30.
—, medición de la, 122.
Templabilidad, 33.
Temple, 289.
— a la llama, 289.
— anular, 289.
— austenitización, 286.
— de las aleaciones de aluminio, 288.
— por capas, 289, 290.
— — inducción, 289.
— — nitruración, 290.
Tenacidad, 33.
Tensión, 119.
— alterna, 398.
— —, generación, 398.
— de contacto, 402.
— eléctrica, 388.
— en bornas, 391, 392.
—, fuentes de, 388.
— inducida, 398.
—, medidor de, 389.
— normal, 120.
— reticular, 286.
Tensiones, serie electroquímica de, 84.
Termorremaches, 261.
Terrajas para roscas grandes, 162.
Textura metálica, 41.
— perlítica, 286.
Titanio, 58.
Tolerancia, campo de, 342.
—, magnitudes de, 342.
— (medición), 5.
Tolerancias, 243, 341.
—, calibres de, 19.
— ISO, 341.
— libres, 13.
Tope, ejecución a (racores), 326.
Topes de recorrido, 297, 298.
Torneado, 169 y ss.
— cónico, 185.
—, ejemplo de trabajo de, 183, 187.
—, trabajos de, 182.
Tornillo, accionamiento, forma de, 245.
—, cabeza, forma de la, 245.
— de ajuste, 245.
— — banco, 217.
— prisionero, 246.
Tornillos, 245.
—, clases de, 245.
— de cabeza, 245.
— — dilatación, 247.
— — vástago, 245.
—, extremos de, 245.
— micrométricos, 11.
— — para exteriores, 12.
— — — interiores, 12.
— ranurados, 245.
Tornillos, seguros para, 248.
Trabajo, 116.
—, división del, 304.
— eléctrico, 394.
— mecánico, 394.
Trabajos en caliente, aceros para, 75.
— — frío, aceros para, 75.
Tracción, fuerzas de, 131.
—, — — —, conformación por, 131.
—, órganos de, 170.
Transformador de energía, 393.
— — soldadura, 278.
Transformadores, 278, 400.
Transmisión PK, 382.
— por correa, 377.
Transmisiones, 376 y ss.
Transportador universal, 20.
Travesaño (cepilladoras), 213.
Trayectorias, control para la generación de, 304.
Trazado, 22.
— con plantilla, 23, 24.
Trazar, instrumentos de, 23.
Tres vías válvula reguladora de caudal de, 316.
Tronzadora, 154.
Tuberías, 325.
—, diámetro de las, 325.
—, longitud de las, 326.
—, montaje de, 327.
—, resistencias de las, 325.
Tubos, curvado, 139.
—, fabricación de, 131.
— flexibles, 327.
Tuercas, 246.
—, formas normalizadas de, 246.
Turbulencias, 325.

Ultrasónicas, investigación, 104.
Ultrasonidos, soldadura por, 281.
Unidad angular, 19.
— de proceso, 306.
Unidades, 1.
— fundamentales, 1, 2.
Unión, 238.
— a presión, 254.
— — — mediante calado, 346.
— — — — contracción, 346.
— — — — dilatación, 346.
— — —, montaje mediante, 344.
— de elementos a presión, 346.
— por apriete y por introducción a presión, 239.
— presión, contracción, 254.
— —, dilatación, 254.
— —, elementos tensión, 254.
—, procedimientos de, 238.
Uniones atornilladas, 240.
— con bulones, 255.
— embridadas, 327.
Uniones en chapa, 261.
— enchavetadas, 253.
— pegadas, 262.
— por encaje, 256.
— remachadas, 259.
— roscadas, estanqueidad, 249.
—, subdivisión, 239.
Unir, 238.
Útiles, 25.

Vacío, tratamiento al, 51, 52.
Valencia de los elementos, 39.
Valor máximo (medición), 4, 12, 341.
— mínimo (medición), 4, 12.
— real, determinación del, 303.
— — (medición), 4, 18.
Válvula antirretorno, 321, 322.
— — con estrangulación, 321.
— limitadora de presión, 315.
— reguladora de caudal, 317.
Válvulas, 321.
— de caudal, 316.
— — cierre, 321.
— — corredera plana, 334.
— — disco distribuidor, 334.
— — escape rápido, 334.
— — platillo, 334.
— — —, símbolos, 316.
— direccionales, 318.
— reductoras de presión, 273.
— reguladoras de caudal, 329.
— — — —, dos vías, 317.
— — — —, tres vías, 317.
Variador de bolas Wilfel-Kopp, 382.
— — velocidad de ruedas corredizas, 374.
Vástago (tornillo), forma del, 245.
Vatio-segundo, 394.
Velocidad angular, 110.
— de circulación de la corriente, 325.
— — corte, 180, 192, 205, 212.
— — — en el cepillado, 213.
— — — — — fresado, 192.
— — — — — mortajado, 212.
— — — — — taladrado, 205.
— — — — — torneado, 180.
— — salida, 126.
— periférica, 111, 224.
—, regulación de la máquina-herramienta, 335.
Verificación, calibres de, 19.
—, medios de, 3.
Vickers, ensayo de dureza, 100.
Viruta, formación, 164.
—, — en el brochado, 219.
—, — (fresado), 168, 190.
— plástica, 151.
Voltímetro, 389.
Voltio, 388.
Volumen, aumento de, 123.
—, procedimientos de medición por, 16.

Yunque, 132.