

Índice analítico

1	Aluminio — Importancia y obtención	1
1.1	Producción y consumo de aluminio	1
1.2	Resumen de las propiedades más importantes	6
1.3	Obtención del aluminio	8
1.3.1	Aluminio primario	8
1.3.1.1	Fundamentos	8
1.3.1.2	Materia prima	9
1.3.1.3	Obtención del óxido de aluminio	10
1.3.1.4	Obtención del aluminio primario	13
1.3.2	Aluminio purísimo	17
1.3.3	Aluminio secundario	18
1.3.3.1	Aleaciones maleables	18
1.3.3.2	Aleaciones para moldeo	20
1.3.4	Aleaciones madre de aluminio	20
1.4.	Formas de suministro	20
1.4.1	Lingotes	20
1.4.1.1	Lingotes de aluminio no aleado	20
1.4.1.2	Lingotes de aleaciones de aluminio	21
1.4.2	Granulados, granalla, polvo	21
1.4.3	Formatos	22
1.5	Obtención del material previo al producto semielaborado	23
1.5.1	Caldo metálico	23
1.5.1.1	Colada	23
1.5.1.2	Fundición	23
1.5.1.3	Medición de temperaturas	23
1.5.2	Lingotes laminados y prensados (tamaños)	24
1.5.2.1	Colada continua vertical	24
1.5.2.2	Colada continua horizontal	25
1.5.2.3	Mecanizado de los lingotes	26
1.5.3	Bandas, alambres	26
1.5.3.1	Laminación de colada	28
1.5.3.2	Colada entre bandas de acero	28
1.5.3.3	Colada entre coquillas de oruga sin fin	29
1.5.3.4	Colada entre rueda o cilindro y banda de acero	29
	Bibliografía	31

2	Constitución y propiedades de los materiales de aluminio	33
2.1.	Constitución de los materiales de aluminio	33
2.1.1	Sistemas de aleaciones	33
2.1.1.1	Importancia del diagrama de estado	33
2.1.1.2	Sistemas binarios (dos componentes)	36
2.1.1.3	Sistemas terciarios (tres componentes)	39
2.1.1.4	Sistema superiores	43
2.1.2	Constitución de los materiales de aluminio maleable	44
2.1.2.1	Aluminio purísimo, aluminio puro, AlFeLi	44
2.1.2.2	Aleaciones de AlMn maleables	44
2.1.2.3	Aleaciones de AlMg y de AlMgMn maleables	45
2.1.2.4	Aleaciones de AlMgLi maleables	46
2.1.2.5	Aleaciones de AlCuMg y de AlCuSiMn maleables	47
2.1.2.6	Aleaciones de AlZnMg maleables	49
2.1.2.7	Aleaciones de AlZnMgCu maleables	50
2.1.2.8	Aleaciones de aluminio con Pb maleables	51
2.1.2.9	Aleaciones de aluminio con Li maleables	51
2.1.2.10	Otras aleaciones de aluminio maleables	51
2.1.3	Constitución de los materiales para fundición de aluminio	51
2.1.3.1	Aleaciones de AlSi para fundición	51
2.1.3.2	Aleaciones de AlSiMg para fundición	52
2.1.3.3	Aleaciones de AlSiCu para fundición	53
2.1.3.4	Aleaciones de AlMg para fundición	55
2.1.3.5	Aleaciones de AlCuTi para fundición	56
2.1.3.6	Aleaciones de AlZnMg para fundición	57
2.1.3.7	Otras aleaciones de aluminio para fundición	58
2.2	Propiedades mecánicas	58
2.2.1	Dureza	59
2.2.2	Resistencia al ensayo de tracción	59
2.2.3	Resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y a la torsión	61
2.2.4	Propiedades resistentes a temperaturas elevadas	62
2.2.4.1	Resumen	62
2.2.4.2	Estabilidad de revenido	63
2.2.4.3	Resistencia al calor en ensayos de corta duración	66
2.2.4.4	Comportamiento a elevadas temperaturas	70
2.2.5	Características de resistencia a bajas temperaturas	72
2.2.6	Resistencia a la fatiga	76
2.2.6.1	Conceptos fundamentales	76
2.2.6.2	Influencia del material	78
2.2.6.3	Influencia de la sollicitación	82
2.2.6.4	Influencia de los máximos de tensión (efecto de entalladura)	83
2.2.6.5	Influencia del estado superficial y del ambiente	86
2.2.6.6	Influencia de la soldadura	86
2.2.6.7	Influencia de la temperatura	88
2.2.7	Resistencia en la sollicitación por choque	90
2.3	Comportamiento a la rotura	91
2.3.1	Mecánica de la rotura	91
2.3.2	Magnitudes características de la mecánica de la rotura	92
2.3.3	Otras magnitudes características	94

2.4	Propiedades tecnológicas	95
2.4.1	Resistencia al desgaste	95
2.4.2	Conformabilidad de chapas	96
2.4.3	Conformabilidad para productos extrusionados y embutidos	99
2.4.4	Facilidad de mecanizado	99
2.5	Propiedades físicas	100
2.5.1	Resumen	100
2.5.2	Densidad	103
2.5.3	Coefficiente de dilatación térmica	103
2.5.4	Calor específico	104
2.5.5	Propiedades elásticas	105
2.5.6	Propiedades amortiguadoras	106
2.5.7	Conductividad eléctrica	106
2.5.8	Conductividad calorífica	112
2.5.9	Comportamiento en el campo magnético	113
2.5.10	Propiedades radiactivas	114
2.5.11	Propiedades de rozamiento	116
2.5.12	Propiedades ópticas	118
2.6	Influencia de los tratamientos térmicos y mecánicos en las propiedades	122
2.6.1	Principios básicos	122
2.6.2	Solidificación	126
2.6.3	Ablandamiento	128
2.6.3.1	Regeneración	129
2.6.3.2	Recristalización	130
2.6.4	Recocido de ablandamiento, estabilización	133
2.6.5	Normalizado	134
2.6.6	Recocido total, homogeneización	134
2.6.7	Revenido	135
2.6.7.1	Recocido de disolución	136
2.6.7.2	Enfriamiento	138
2.6.7.3	Almacenaje	138
2.6.7.4	Reconstitución	139
2.6.8	Influencia de la deformación en el comportamiento al endurecimiento	140
2.6.8.1	Conformación en frío y endurecimiento en frío	141
2.6.8.2	Conformación en frío y endurecimiento térmico	143
2.6.9	Conformación en frío y endurecimiento de diversos materiales para laminación y forja	143
2.6.9.1	AlCuMg, AlCuSiMn	143
2.6.9.2	AlMgSi	146
2.6.9.3	AlZnMg	148
2.6.9.4	AlZnMgCu	151
2.6.10	Comportamiento al endurecimiento de diversas aleaciones de fundición	151
2.6.11	Materiales compuestos de aluminio	153
2.6.11.1	Materiales compuestos de aluminio con refuerzo de fibras	154
2.6.11.2	Propiedades de los compuestos	154
2.6.11.3	Compuestos con fibras incrustadas	154
2.6.11.3	Compuestos de fibra por estirado de inclusiones	156

2.7.1.4	Materiales compuestos de fibra "naturales" (eutécticos)	157
2.7.2	Materiales de aluminio endurecedores por dispersión	158
2.7.3	Tendencias en cuanto al desarrollo de fabricación de materiales compuestos de aluminio nuevos de mayor resistencia	159
2.7.3.1	Partículas de solidificación rápida	160
2.7.3.2	Aleaciones mecánicas	161
2.7.3.3	Obtención pulvimetalúrgica (PM) de semielaborados y piezas perfiladas	161
	Bibliografía	162
3	Comportamiento químico del aluminio	175
3.1	Superficie del aluminio	175
3.1.1	Formación de películas de óxido y capas protectoras bajo la influencia del ambiente	175
3.1.1.1	Películas de óxido naturales al aire	175
3.1.1.2	Capas de recubrimiento de óxido bajo la influencia de la intemperie	176
3.1.1.3	Capas de recubrimiento por aguas potables o naturales	178
3.1.2	Reforzamiento de la capa de óxido natural	178
3.2	Corrosión	179
3.2.1	Fundamentos	179
3.2.2	Influencias sobre la corrosión	180
3.2.2.1	Elementos de aleación, elementos de adición	180
3.2.2.2	Tratamientos térmicos o mecánicos	181
3.2.2.3	Condición superficial	182
3.2.3	Conceptos, tipos de corrosión	182
3.2.3.1	Conceptos	182
3.2.3.2	Corrosión sin sollicitación mecánica	182
3.2.3.3	Corrosión bajo sollicitación mecánica	188
3.2.4	Protección contra la corrosión	189
3.2.4.1	Capa de recubrimiento	189
3.2.4.2	Protección superficial	189
3.2.4.3	Inhibidores	189
3.3	Comportamiento químico frente a otras sustancias	190
3.3.1	Substancias y comportamiento	190
3.3.2	Ensayo de la estabilidad química	190
3.3.2.1	Métodos de ensayo	190
3.3.2.2	Procedimiento de ensayo	207
3.3.3	Inocuidad sanitaria	208
	Bibliografía	210
4	Designaciones y características mecánicas de los materiales	215
4.1	Designaciones de los materiales	215
4.1.1	Concepto "aluminio"	215
4.1.2	Designación según procedencia o pureza	215
4.1.3	Designación según el tipo de elaboración o la forma de suministro	216
4.1.4	Designación según la composición química y notaciones utilizadas para indicar su estado	217

1.4.1	Composición	217
1.4.2	Estado del material	217
1.5	Designación según DIN 17007 P.4 y notaciones utilizadas para indicar su estado	218
1.5.1	Formación de los números correspondientes a los materiales para el aluminio	219
1.5.2	Designación de los estados de los materiales	219
1.6	Designación según la capacidad de endurecimiento	220
1.7	Designación según el uso	220
1.8	Elección del material para fines especiales	221
2	Características mecánicas normalizadas de los materiales	235
2.1	Resumen de las normas	235
2.2	Semielaborado de aluminio para laminación y forja	235
2.3	Fundición de aluminio	247
	Semielaborados de aluminio	255
1	Productos laminados	255
1.1	Chapas, bandas	256
1.1.1	Planchas y bandas laminadas en frío	256
1.1.2	Planchas y bandas laminadas en caliente	256
1.1.3	Discos	257
1.1.4	Pastillas	259
1.1.5	Productos laminados especiales	259
1.1.6	Laminación de chapas y bandas	261
1.2	Láminas, bandas finas	264
1.2.1	Láminas de aluminio	265
1.2.2	Banda delgada	268
1.2.3	Tratamiento superficial, refinado de las láminas	270
1.3	Pan de aluminio	273
2	Productos extrusionados, productos trefilados	273
2.1	Materiales, dimensiones de suministro, medidas	273
2.2	Proceso de extrusión	276
2.2.1	Extrusión directa	281
2.2.2	Extrusión indirecta	282
2.2.3	Extrusión hidrostática	282
2.2.4	Extrusión según el procedimiento "Conform"	283
2.2.5	Extrusión de tubos y perfiles huecos	284
2.2.6	Variantes de los procesos de extrusión	285
2.3	Máquinas e hileras para la extrusión	287
2.3.1	Modelos y grupos principales de prensas de extrusión	287
2.3.2	Útiles de extrusión (matrices)	290
2.4	Influencia del material en el proceso de extrusión	291
2.4.1	Flujo de material durante la extrusión	291
2.4.2	Influencia de la resistencia a la conformación	292
2.4.3	Influencia de las condiciones de extrusión	293
2.4.4	Particularidades y defectos en los productos extrusionados	295
2.4.5	Refrigeración y enfriamiento en la prensa	296
2.5	Procesos de trabajo antes y después de la extrusión	298
2.5.1	Homogeneización de los tochos a extruir	298
2.5.2	Preparación y calentamiento de los tochos	299

5.2.5.3	Estirado, alargamiento, enderezado	299
5.2.5.4	Endurecimiento de los perfiles extrusionados	300
5.2.6	Productos estirados	301
5.2.6.1	Materiales, medidas de suministro, dimensiones	301
5.2.6.2	Barras, tubos	303
5.2.6.3	Alambre	303
5.3	Piezas forjadas	305
5.3.1	Materiales, medidas de suministro, dimensiones	305
5.3.2	Proceso de forja, influencia del material	306
5.4	Piezas sinterizadas de aluminio	310
5.4.1	Piezas sinterizadas	310
5.4.1.1	Criterios	310
5.4.1.2	Materiales	311
5.4.1.3	Fabricación	312
5.4.2	Casquillos de cojinete sinterizados	313
5.5	Piezas fundidas celulares o con carga de materiales	313
5.5.1	Aluminio celular	313
5.5.2	Aluminio con carga de materiales	314
5.6	Semielaborados compuestos, elementos compuestos	315
5.6.1	Semielaborado compuesto de aluminio con metales	315
5.6.1.1	Aluminio-aluminio	315
5.6.1.2	Aluminio-cobre	316
5.6.1.3	Aluminio-acero	316
5.6.1.4	Alambres y barras de aluminio placadas con cobre	316
5.6.1.5	Perfiles extrusionados de aluminio placado con acero	318
5.6.1.6	Otros semielaborados de aluminio con placado metálico	319
5.6.2	Elementos compuestos de aluminio y otros metales	319
5.6.3	Semielaborado compuesto de aluminio y no metales	319
5.6.3.1	Aluminio-madera, papel-aluminio, cartón-aluminio	319
5.6.2.2	Productos textiles de aluminio/plástico	320
5.6.4	Elementos de construcción sandwich	320
5.6.4.1	Elementos de construcción sandwich para solicitaciones débiles	320
5.6.4.2	Elementos de construcción sandwich para altas solicitaciones	321
5.7	Productos especiales similares a semielaborados	322
5.7.1	Perfiles y tubos a partir de bandas	322
5.7.2	Productos especiales para intercambiadores de calor	324
5.7.3	Perfiles compuestos atérmanos	327
	Bibliografía	
6	Ensayo de materiales y control de calidad	335
6.1	Ensayo de la composición química	335
6.1.1	Métodos analíticos	336
6.1.1.1	Análisis espectral	336
6.1.1.2	Análisis químico por vía húmeda	337
6.1.1.3	Análisis espectral de absorción atómica (AAS)	337
6.1.2	Toma de muestras	338
6.1.2.1	Toma de muestras de la colada	338

6.1.2.2	Toma de muestras de fabricados de aluminio	339
6.1.2.3	Toma de muestras de chatarra	340
6.2	Examen de la estructura	341
6.2.1	Investigaciones macroscópicas	341
6.2.2	Examen con el microscopio óptico	342
6.2.3	Ensayos con el microscopio electrónico	346
6.3	Ensayo de productos metalúrgicos, semielaborados y piezas fundidas	347
6.3.1	Alcance de los ensayos, toma de muestras	353
6.3.2	Objetivo de los ensayos, procedimientos	354
6.3.2.1	Verificación de la superficie	354
6.3.2.2	Ensayos no destructivos para defectos internos	355
6.3.2.3	Ensayos destructivos para defectos internos	357
6.3.2.4	Ensayos del estado del material	357
6.3.3	Ensayo de las características mecánicas a temperatura ambiente	357
6.3.3.1	Resistencia a la tracción, límite elástico 0,2%, alargamiento de rotura	358
6.3.3.2	Dureza	358
6.3.3.3	Resistencia a la compresión, límite de recalcado 0,2%, recalcado de rotura	359
6.3.3.4	Ensayo de las demás características mecánicas a temperatura ambiente	360
6.3.4	Ensayo de fatiga	361
6.4	Ensayo de uniones soldadas y cordones de soldadura	362
6.5	Normas de calidad	365
6.5.1	Calidades para semielaborados y piezas fundidas	365
6.5.2	Control de calidad en el caso de elaboración posterior	367
	Bibliografía	368
7	Fundición de aluminio en molde	371
7.1	Piezas fundidas de aluminio	372
7.1.1	Procedimientos de fabricación	372
7.1.2	Aspectos económicos de su utilización	374
7.1.3	Características de las piezas fundidas	374
7.1.3.1	Exactitud en las medidas	374
7.1.3.2	Estado para el suministro	375
7.2	Materiales de aluminio para moldeo	376
7.2.1	Grupos y características de los materiales para moldeo	376
7.2.1.1	Aleaciones para moldeo AlSi	376
7.2.1.2	Aleaciones para moldeo AlSiMg	377
7.2.1.3	Aleaciones para moldeo AlSiCu	377
7.2.1.4	Aleaciones para moldeo AlMg	377
7.2.1.5	Aleaciones para moldeo AlCuTi	378
7.2.1.6	Aleaciones para moldeo AlZnMg	378
7.2.2	Materiales para moldeo normalizados y especiales	378
7.2.2.1	Materiales para moldeo normalizados según DIN	378
7.2.2.2	Materiales para moldeo no normalizados, según la VDS	378

7.2.2.3	Materiales para moldeo no normalizados en calidades especiales	381
7.2.2.4	Aleaciones para moldeo normalizadas por otras normas	382
7.2.3	Características de la colada	383
7.2.3.1	Desarrollo de la solidificación	384
7.2.3.2	Fluidez	385
7.2.3.3	Capacidad de llenado del molde	386
7.2.3.4	Comportamiento en la alimentación	387
7.2.3.5	Tendencia a la formación de rechupes	387
7.2.3.6	Agrietamiento en estado caliente	389
7.2.3.7	Contracción	389
7.3	Preparación del caldo	389
7.3.1	Fundamentos	389
7.3.1.1	Oxidación del caldo	390
7.3.1.2	Absorción de hidrógeno por el caldo	391
7.3.2	Tecnología de la fusión	393
7.3.3	Limpieza del caldo	393
7.3.3.1	Tratamiento con gases	394
7.3.3.2	Tratamiento con compuestos que provocan desprendimiento de cloro	396
7.3.3.3	Tratamiento con fundentes	396
7.3.3.4	Filtrado de caldo	397
7.3.3.5	Limpieza por depresión	398
7.3.4	Tratamiento del caldo para mejorar la estructura	398
7.3.4.1	Afino del grano	398
7.3.4.2	Afino de las aleaciones AISi	399
7.4	Hornos de fusión y de conservación del calor, transporte de colada	400
7.4.1	Hornos de crisol	403
7.4.1.1	Hornos de crisol calentados por gas y aceite	403
7.4.1.2	Hornos de crisol calentados por resistencia	403
7.4.1.3	Crisoles	404
7.4.2	Hornos sin crisol	406
7.4.2.1	Hornos de solera	406
7.4.2.2	Hornos de tambor rotatorio	407
7.4.2.3	Hornos de inducción con frecuencia de la red	408
7.4.2.4	Revestimiento de los hornos	409
7.4.3	Transporte del caldo	409
7.4.3.1	Transporte externo al servicio	409
7.4.3.2	Transporte interno al servicio	410
7.5	Colada en moldes destructibles	411
7.5.1	Materiales para moldes y machos	411
7.5.2	Fundición en arena	413
7.5.2.1	Fabricación de moldes	413
7.5.2.2	Fabricación de machos	415
7.5.2.3	Técnica de entrada y alimentadores	418
7.5.2.4	Colada	425
7.5.3	Procedimientos especiales para moldeo y colada	425
7.5.3.1	Fundición de precisión	425
7.5.3.2	Fundición fina	426

5.3.3	Fundición en molde al vacío	426
5.3.4	Fundición con molde perdido	426
6	Fundición en moldes permanentes	427
6.1	Fundición en coquilla	427
6.1.1	Útiles para la colada (coquillas)	428
6.1.2	Fundición en coquilla por gravedad	429
6.1.3	Fundición en coquilla con crisol basculante	432
6.1.4	Fundición en coquilla a baja presión	432
6.1.5	Fundición en coquilla a contrapresión	433
6.1.6	Técnica de entrada	434
6.1.7	Control de la solidificación	435
6.1.8	Colada, dosificación	435
6.2	Fundición inyectada	436
6.2.1	Principio	437
6.2.2	Útiles para la colada (moldes)	438
6.2.3	Fundición inyectada (cámara fría) con cámara de vertido horizontal y vertical	438
6.2.4	Fundición inyectada al vacío	441
6.2.5	Procedimiento Acurad	442
6.2.6	Fundición inyectada con carga de oxígeno (procedimiento PF)	442
	Procedimientos especiales de fundición	443
7.1	Fundición combinada	443
7.1.1	Adherencia por contracción	443
7.1.2	Adherencia por dentado	444
7.1.3	Unión metálica	444
7.2	Fundición centrifugada, fundición a presión	445
	Tratamientos térmicos de las piezas fundidas	445
8.1	Instalaciones para tratamientos térmicos	447
8.2	Endurecimiento	447
8.2.1	Recocido de disolución	447
8.2.2	Enfriamiento	449
8.2.3	Almacenamiento en caliente	450
8.2.4	Endurecimiento parcial	451
8.2.5	Endurecimiento en frío	451
8.2.6	Autoendurecimiento	451
8.2.7	Endurecimiento simplificado por almacenamiento en caliente sin recocido de disolución	452
8.3	Tratamientos térmicos para fines especiales	452
8.3.1	Estabilización	452
8.3.2	Recocido de ablandamiento	453
8.3.3	Recocido de normalización	453
8.3.4	Tratamiento especial para materiales concretos	454
	Trabajos posteriores en las piezas fundidas	454
9.1	Limpieza	454
9.2	Estanqueidad, retoques	455
	Bibliografía	456
	Elaboración ulterior del semielaborado	459
	Corte a cizalla	460

8.2	Plegado	462
8.2.1	Plegado en frío de chapas y bandas	468
8.2.2	Curvado en frío de tubos y perfiles simples	468
8.2.3	Plegado en caliente	469
8.3	Conformación de chapa	469
8.3.1	Embutición profunda	471
8.3.1.1	Embutición profunda escalonada	475
8.3.1.2	Embutición profunda sin pisador	475
8.3.1.3	Embutición invertida	476
8.3.1.4	Procedimientos especiales de embutición profunda	478
8.3.2	Embutición por estirado, embutición por estirado escalonado	479
8.3.3	Conformación de materiales superplásticos	479
8.3.4	Repujado al torno (entallado)	482
8.3.5	Otros procedimientos de trabajo de la chapa	484
8.4	Conformación de material macizo	485
8.4.1	Extrusión en frío	488
8.4.1.1	Materiales, lubricantes	490
8.4.1.2	Máquinas y herramientas	492
8.4.1.3	Fuerzas para la extrusión en frío	493
8.4.1.4	Posibilidades de fabricación	494
8.4.1.5	Diseño de piezas extruidas en frío	495
8.4.2	Otras conformaciones macizas en frío	497
8.4.3	Forja	498
8.4.3.1	Materiales para la forja	498
8.4.3.2	Propiedades características de las piezas forjadas	499
8.4.3.3	Forja de precisión	500
8.4.3.4	Condiciones de conformación para la forja del aluminio	501
8.5	Otros procedimientos de conformación en caliente y en frío	504
8.5.1	Conformación en caliente en la mecanización ulterior	504
8.5.1.1	Conformación en caliente por debajo de la temperatura de recristalización	504
8.5.1.2	Conformación en caliente por encima de la temperatura de recristalización	506
8.5.2	Enderezado con soplete	506
8.5.3	Conformación en frío para el estado «recién enfriado»	509
8.5.3.1	Conformación en frío después del recocido de disolución y enfriado	509
8.5.3.2	Conformación por choque térmico	510
8.6	Tratamiento térmico en la empresa transformadora	510
8.6.1	Recocido de ablandamiento	511
8.6.2	Revenido de materiales no endurecibles	512
8.6.3	Endurecimiento de aleaciones para forja y laminación	512
8.6.3.1	Recocidos de disolución	512
8.6.3.2	Enfriamiento	514
8.6.3.3	Almacenamiento	518
8.7	Instalaciones para tratamientos térmicos	519
8.7.1	Hornos de tratamiento térmico	520
8.7.2	Baños de enfriamiento	520
8.7.3	Control de temperaturas	520

8.8	Compresión isostática	521
	Bibliografía	522
9	Mecanizado del aluminio con arranque de viruta	527
9.1	Facilidad de mecanizado de los materiales de aluminio	527
9.1.1	Materiales de aluminio para laminación y forja	529
9.1.2	Materiales para tornos automáticos	529
9.1.3	Materiales de fundición de aluminio	530
9.2	Herramientas, máquinas, materiales auxiliares	532
9.2.1	Materiales de corte	533
9.2.1.1	Aceros rápidos	533
9.2.1.2	Metales duros	533
9.2.1.3	Diamante	534
9.2.1.4	Materiales de corte no idóneos	534
9.2.2	Máquinas	535
9.2.3	Lubricantes-refrigerantes	536
9.3	Procedimientos de mecanizado con arranque de viruta	536
9.3.1	Torneado	536
9.3.2	Fresado	538
9.3.2.1	Fresas	538
9.3.2.2	Condiciones de corte	538
9.3.3	Cepillado, mortajado, brochado	540
9.3.4	Taladrado	540
9.3.4.1	Brocas	540
9.3.4.2	Condiciones de corte	542
9.3.5	Avellanado, escariado, roscado	543
9.3.5.1	Avellanado	543
9.3.5.2	Escariado	543
9.3.5.3	Roscado	544
9.3.6	Mecanizado con tornos automáticos	545
9.3.7	Aserrado	548
9.3.8	Esmerilado	548
9.3.9	Procedimiento de superacabado	550
9.3.9.1	Torneado de precisión (torneado brillante)	550
9.3.9.2	Bruñido	550
9.3.9.3	Rasqueteado	551
9.3.9.4	Lapeado	552
9.3.10	Electroerosión	552
9.3.10.1	Erosión planetaria	552
9.3.10.2	Erosión con alambre	553
	Bibliografía	553
	Unión del aluminio	555
	Soldadura por fusión	555
9.3.11	Particularidades específicas referentes a los materiales	555
9.3.11.1	Influencia de la capa de óxido	555
9.3.11.2	Influencia del procedimiento de soldadura	558
9.3.11.3	Elección del material de aportación	558
9.3.11.4	Influencia del calor de soldadura sobre las características de los materiales	562

10.1.1.5	Influencia sobre el aspecto superficial después del anodizado de piezas soldadas por fusión	562
10.1.1.6	Prescripciones para la soldadura de construcciones obligadas a supervisión	563
10.1.2	Trabajos previos a la soldadura por fusión	565
10.1.2.1	Medidas generales de seguridad	565
10.1.2.2	Preparación de las juntas para costura, limpieza	565
10.1.2.3	Soldadura ligera de fijación	565
10.1.2.4	Pre calentamiento	566
10.1.3	Soldadura por arco eléctrico bajo gas protector	567
10.1.3.1	Procedimiento	567
10.1.3.2	Gases protectores	569
10.1.3.3	Medidas de seguridad para el trabajo y salud en la soldadura del aluminio con atmósfera protectora	570
10.1.4	Soldadura WIG	571
10.1.4.1	soldadura WIG con corriente alterna	571
10.1.4.2	Soldadura WIG con corriente continua	575
10.1.4.3	Soldadura por plasma (soldadura de plasma de wolframio)	577
10.1.4.4	Soldadura WIG mecanizada de tubos	578
10.1.4.5	Soldadura por puntos WIG	579
10.1.5	Soldadura MIG	579
10.1.5.1	Soldadura MIG con arco difuso	579
10.1.5.2	Soldadura MIG con corriente pulsatoria (pulsed arc, pulsed spray)	583
10.1.5.3	Soldadura MIG con alambre grueso	584
10.1.5.4	Soldadura MIG con corriente de alta intensidad	585
10.1.5.5	Soldadura MIG por plasma	585
10.1.5.6	Otras variantes MIG para la soldadura de chapa gruesa	585
10.1.5.7	Soldadura MIG para tubos mecanizada	586
10.1.5.8	Soldadura MIG por puntos y de botón	587
10.1.6.	Soldadura de fusión utilizando fundentes	588
10.1.6.1	Fundentes	588
10.1.6.2	Soldadura por gas	589
10.1.6.3	Soldadura por arco eléctrico (soldadura manual por arco eléctrico)	591
10.1.6.4	Soldadura por arco bajo polvo (soldadura UP)	593
10.1.6.5	Soldadura por arco sumergido en escoria (soldadura ES)	593
10.1.7	Otros métodos de soldadura por fusión	594
10.1.7.1	Soldadura por vertido	594
10.1.7.2	Soldadura aluminotérmica	594
10.1.7.3	Soldadura por haz de electrones	595
10.1.8	Separación térmica	598
10.1.8.1	Corte oxiacetilénico	598
10.1.8.2	Corte con el aparato de soldadura MIG	598
10.1.8.3	Corte por rayos de plasma	599
10.1.8.4	Corte por láser	601
10.1.9	Fallos en las uniones soldadas por fusión	601
10.1.9.1	Grietas por soldadura	601
10.1.9.2	Defectos de unión, defectos de entalla en la penetración, fallos en la forma del cordón de soldadura	603
10.1.9.3	Inclusiones	604
10.1.9.4	Porosidad en la costura	604
10.1.10	Reparaciones mediante soldadura por fusión	606

10.1.10.1	Colocación de parches	607
10.1.10.2	Retoques de piezas de fundición	607
10.1.10.3	Soldadura de piezas de fundición rotas	607
10.2	Soldadura a presión	608
10.2.1	Soldadura a presión por resistencia	608
10.2.1.1	Soldadura a puntos por resistencia	609
10.2.1.2	Soldadura por costura a rodillo	620
10.2.1.3	Soldadura a tope por chispa	621
10.2.2	Soldadura de espárragos	622
10.2.2.1	Soldadura de espárragos con pistola con encendido de punta	622
10.2.2.2	Soldadura de espárragos con pistola con encendido en recorrido	623
10.2.3	Soldadura por presión en frío y en caliente	623
10.2.3.1	Soldadura por presión en frío	623
10.2.3.2	Procedimiento KPS	624
10.2.3.3	Soldadura por ultrasonido	625
10.2.3.4	Soldadura por explosión	626
10.2.3.5	Soldadura por presión en caliente	626
10.2.4	Soldadura por fricción	628
10.2.5	Soldadura por alta frecuencia	629
10.3	Soldadura heterogénea	631
10.3.1	Procedimientos de soldadura heterogénea	631
10.3.2	Soldabilidad	632
10.3.3	Características de las uniones soldadas	632
10.3.4	Aleaciones para soldadura heterogénea, fundentes	633
10.3.4.1	Aleaciones para soldadura heterogénea	633
10.3.4.2	Fundentes	634
10.3.5	Medidas de seguridad	634
10.3.6	Soldadura fuerte con fundentes	635
10.3.6.1	Configuración de las zonas de unión	635
10.3.6.2	Modo de actuar de los fundentes en la soldadura fuerte	637
10.3.6.3	Aplicación de los fundentes para soldadura fuerte y de los materiales de soldar	637
10.3.6.4	Procedimiento de soldadura fuerte con fundente. Práctica de la misma	637
10.3.7	Soldadura fuerte sin fundente	640
10.3.7.1	Material de aportación para soldadura fuerte sin fundente	640
10.3.7.2	Procedimiento de soldadura fuerte sin fundente	641
10.3.8	Soldadura blanda	642
10.3.8.1	Características del proceso	642
10.3.8.2	Procedimiento para la soldadura blanda	642
	Pegado	643
	Características de las uniones pegadas	643
	Pegamentos	644
10.3.9.1	Pegamentos para la construcción	644
10.3.9.2	Otros pegamentos	649
10.3.9.3	Masillas metálicas	650
	Configuración de las uniones con pegamento	650

10.4.4	Tratamiento previo de las uniones por pegamento	652
10.4.5	Ejecución del pegado	653
10.4.6	Resistencia de las uniones pegadas	654
10.4.6.1	Resistencia a las solicitaciones estáticas	654
10.4.6.2	Resistencia a las solicitaciones dinámicas	654
10.4.6.3	Cambios en la resistencia como consecuencia de influencias ambientales	655
10.4.7	Cálculo de las uniones con pegamento	657
10.4.7.1	Determinación de las tensiones admisibles	657
10.4.7.2	Determinación de la carga admisible	658
10.4.8	Uniones pegadas entre aluminio y materiales no metálicos	658
10.5	Roblonado	659
10.5.1	Remaches macizos	659
10.5.1.1	Materiales para remaches	660
10.5.1.2	Formas de los remaches	660
10.5.1.3	Formas de las segundas cabezas	661
10.5.1.4	Remaches de alta resistencia	663
10.5.2	Remaches de macho	666
10.5.3	Tuercas ciegas	667
10.5.4	Reparación de las uniones remachadas	667
10.6	Tornillos	667
10.6.1	Materiales para los tornillos	668
10.6.1.1	Aleaciones de aluminio	668
10.6.1.2	Acero al cromo-níquel	669
10.6.1.3	Acero Inkrom	669
10.6.1.4	Acero galvanizado	670
10.6.1.5	Acero desprotegido	670
10.6.1.6	Aleaciones de cobre	670
10.6.2	Tornillos en las piezas de construcción de aluminio	670
10.6.2.1	Compresión superficial debajo de las cabezas de los tornillos y de las tuercas	670
10.6.2.2	Roscas en el aluminio	673
10.6.2.3	Suplementos roscados	674
10.6.2.4	Tornillos con pivote	675
10.6.3	Tornillos autorroscantes o con rosca cortante	675
10.6.3.1	Tornillos para chapa	675
10.6.3.2	Tornillos autorroscantes	677
10.6.3.3	Tornillos con rosca cortante	678
10.6.4	Ejecución y mantenimiento de las uniones atornilladas	678
10.6.5	Garantía de las uniones atornilladas	680
10.6.6	Otros elementos de unión de aluminio	681
10.6.6.1	Tornillos para madera	681
10.6.6.2	Clavos, grapas	681
10.7	Otros procedimientos mecánicos de unión	682
10.7.1	Unión por conformación	682
10.7.1.1	Conformación de las piezas a unir	682
10.7.1.2	Conformación de o con elementos de unión	685
10.7.2	Ensamblado mediante uniones por enchufe, por resorte y por aprieto	688

10.8	Unión del aluminio con otros materiales	692
10.8.1	Uniones por soldadura homogénea	692
10.8.1.1	Soldadura directa	692
10.8.1.2	Uniones con piezas de empalme o transición soldadas	694
10.8.2	Uniones por soldadura heterogénea	695
10.8.2.1	Soldadura fuerte (con material de aportación de aluminio)	695
10.8.2.2	Soldadura blanda	696
	Bibliografía	697
11	Tratamiento superficial del aluminio	713
11.1	Tratamiento superficial mecánico	713
11.1.1	Desbarbado, limpieza	716
11.1.2	Esmerilado	716
11.1.2.1	Esmerilado grueso	717
11.1.2.2	Esmerilado fino	717
11.1.3	Esmerilado deslizante	717
11.1.4	Esmerilado por inmersión	717
11.1.5	Esmerilado mate, cepillado mate	718
11.1.5.1	Esmerilado (o cepillado) mate	718
11.1.5.2	Cepillado (satinado)	718
11.1.5.3	Jaspeado	719
11.1.5.4	Esmerilado a mano, esmerilado por frotamiento	719
11.1.6	Pulido	719
11.1.6.1	Pulido con disco de trapo	719
11.1.6.2	Bruñido	720
11.1.6.3	Pulido en tambor	720
11.1.7	Dibujado	720
11.1.8	Chorroado	720
11.1.8.1	Chorroado con material de aluminio	721
11.1.8.2	Chorroado con perlas de vidrio, chorroado con bolas	721
11.1.8.3	Lapeado por chorroado a presión	721
11.2	Tratamiento superficial químico	721
11.2.1	Desengrasado	721
11.2.1.1	Medios de desengrase	722
11.2.1.2	Desengrasado electrolítico	723
11.2.1.3	Materiales para los recipientes	723
11.2.2	Decapado	723
11.2.2.1	Soluciones alcalinas	726
11.2.2.2	Soluciones ácidas	726
11.2.2.3	Decapados especiales	727
11.2.2.4	Materiales para los recipientes	727
11.2.3	Mordentado	727
11.2.3.1	Aplicación decorativa	728
11.2.3.2	Aplicaciones industriales	728
11.2.4	Oxidación química	732
11.2.4.1	Cromatado ácido	733
11.2.4.2	Cromatado alcalino	734
11.2.4.3	Fosfatado ácido	734
11.2.4.4	Realización del cromatado y del fosfatado	735
11.2.5	Abrillantado	736
11.2.5.1	Materiales para abrillantar	736
11.2.5.2	Abrillantado químico	737

11.2.5.3	Abrillantado electrolítico	737
11.2.6	Normas de seguridad en los tratamientos superficiales químicos	739
11.3	Oxidación anódica	740
11.3.1	Fundamentos de oxidación anódica	741
11.3.1.1	Crecimiento y constitución de las capas de óxido obtenidas anódicamente	741
11.3.1.2	Elección del material para la oxidación anódica	743
11.3.2	Características de las capas de óxido obtenidas anódicamente	744
11.3.2.1	Coloración característica dependiente de la composición del material	744
11.3.2.2	Aspecto, efecto decorativo	745
11.3.2.3	Espesor de la capa, acción protectora	745
11.3.2.4	Dureza, resistencia al desgaste y a la abrasión	746
11.3.2.5	Resistencia a la temperatura	746
11.3.2.6	Poder de reflexión y radiación	746
11.3.2.7	Acción aislante de la electricidad	746
11.3.3	Realización y proceso a seguir en la oxidación anódica	747
11.3.3.1	Procesos de anodizado normales para la obtención de capas de óxido no coloreadas	750
11.3.3.2	Procesos para la obtención de placas de óxido coloreadas	750
11.3.3.3	Coloración por absorción (colocación por inmersión)	751
11.3.3.4	Coloración electrolítica (proceso en dos etapas)	751
11.3.3.5	Coloración anódica (proceso en una etapa)	754
11.3.3.6	Coloración combinada	754
11.3.3.7	Procesos especiales de anodizado	754
11.3.4	Anodizado duro	755
11.3.4.1	Materiales para el anodizado duro	755
11.3.4.2	Características de las capas de óxido duras	756
11.3.5	Compactación de las capas de óxido obtenidas anódicamente	757
11.3.5.1	Formación de sedimento	757
11.3.5.2	Envejecimiento de la capa de óxido	758
11.3.5.3	Ensayo de las capas de óxido compactadas obtenidas anódicamente	758
11.3.6	Coloración, impresión, impregnación de capas de óxido no compactadas	759
11.3.6.1	Alucromía	759
11.3.6.2	Impresión	760
11.3.6.3	Procedimiento de impregnación Impal	760
11.3.6.4	Impregnación con materiales fotosensibles	760
11.3.6.5	Preparación de clichés	760
11.3.7	Influencia de los procesos de trabajo sobre el anodizado	761
11.3.8	Causas de defectos en las capas de óxido obtenidas anódicamente	762
11.3.9	Limpieza de las piezas de construcción anodizadas	763
11.3.9.1	Exigencias a los medios de limpieza	764
11.3.9.2	Protección y limpieza durante el montaje	764

11.4	Recubrimiento del aluminio	764
11.4.1	Recubrimientos metálicos en los procesos de inmersión y cocción	764
11.4.2	Niquelado sin corriente (químico)	765
11.4.3	Galvanizado	765
11.4.3.1	Tratamientos previos (incluida la activación)	765
11.4.3.2	Cobreado	767
11.4.3.3	Niquelado	767
11.4.3.4	Cromado	768
11.4.3.5	Otros recubrimientos galvánicos	768
11.4.3.6	Capas por dispersión	769
11.4.3.7	Deposición galvánica del aluminio	769
11.4.4	Proyección térmica	769
11.4.5	Lacado, pintado	771
11.4.5.1	Tratamiento previo	772
11.4.5.2	Recubrimientos con lacas por vía húmeda	774
11.4.5.3	Recubrimiento con laca en polvo	775
11.4.5.4	Ensayos del recubrimiento	776
11.4.5.5	Pinturas de renovación	776
11.4.5.6	Protección contra el hormigón y tierras sobrepuestos	777
11.4.5.7	Pintado de barcos	777
11.4.6	Recubrimientos plásticos	778
11.4.7	Esmaltado	779
11.4.8	Otros recubrimientos	780
	Bibliografía	781
	 Construir con aluminio	 789
	 Construcción ligera como principio de construcción	 789
1	Definiciones	789
2	Sistemas de construcción	792
2.1	Formas constructivas	792
	 Aluminio como elemento constructivo	 795
2.2	Formas adecuadas a la sollicitación	793
1	Criterios de selección	794
1.1	Propuesta de material	794
1.2	Resistencia	796
1.3	Influencias que modifican la resistencia	797
1.4	Comportamiento a la deformación elástica	798
1.5	Comportamiento a la deformación plástica y a la rotura	798
1.6	Comportamiento frente a la temperatura	800
1.7	Comportamiento a la corrosión	801
1.8	Desgaste	801
	Combinaciones de materiales	802
	Combinaciones aluminio-aluminio	802
	Combinaciones de aluminio con otros materiales	802
	 Configuración de elementos y piezas constructivas	 803
	Influencia funcional del módulo de elasticidad	803
	Dimensionado a base de la resistencia	804

12.3:1.2	Dimensionado por deformación admisible y estabilidad	805
12.3.1.3	Capacidad de trabajo elástico y efectos de reacción	809
12.3.1.4	Cargas de choque sobre pieza de construcción en reposo de aluminio	810
12.3.1.5	Cargas de choque como consecuencia de éste en construcción móvil de aluminio	810
12.3.1.6	Amortiguamiento elástico	810
12.3.1.7	Elasticidad y deformación plástica	810
12.3.1.8	Módulo de elasticidad en construcciones mixtas	811
12.3.2	Construcción con perfiles extrusionados	811
12.3.2.1	Formas fundamentales de los perfiles extrusionados	812
12.3.2.2	Valoración de diversas formas de secciones transversales	812
12.3.2.3	Ventajas constructivas	813
12.3.2.4	Dimensiones de los perfiles extrusionados	814
12.3.2.5	Ejemplos para perfiles extrusionados, posibilidades de adquisición	818
12.3.3	Construcción con chapas	818
12.3.3.1	Planos de superficie útil	819
12.3.3.2	Planos de chapas perfiladas	820
12.3.3.3	Combinaciones perfil-chapa	821
12.3.3.4	Arriostramiento de escotaduras y boquetes	823
12.3.4	Construcción con piezas de forma, realizadas con materiales para laminación y forja	824
12.3.4.1	Piezas de forma de chapa	824
12.3.4.2	Piezas forjadas en estampa	825
12.3.4.3	Piezas forjadas sin estampa	828
12.3.4.4	Piezas extrusionadas	828
12.3.5	Construcción con piezas fundidas	829
12.3.5.1	Elección del material para piezas fundidas	830
12.3.5.2	Directrices generales de construcción para piezas fundidas	831
12.3.5.3	Influencia de la construcción en la distribución de tensiones	837
12.3.5.4	Particularidades constructivas	840
12.3.5.5	Diferencias dimensionales y demasías de mecanizado para piezas fundidas	846
12.3.5.6	Paso a la fundición de aluminio	850
12.3.6	Construcciones combinadas	850
12.3.6.1	Combinaciones de aluminio con aluminio	851
12.3.6.2	Combinaciones de aluminio con otros materiales	851
12.3.7	Elementos de construcción sandwich	852
12.3.7.1	Sandwich con núcleo de panales de aluminio	854
12.3.7.2	Sandwich con núcleo de espuma rígida de plástico	855
12.4	Uniones como detalle constructivo	856
12.4.1	Uniones de soldadura por fusión	856
12.4.1.1	Materiales	856
12.4.1.2	Configuración de las uniones	856
12.4.2	Uniones por soldadura por puntos	859
12.4.3	Uniones por soldadura heterogénea	860
12.4.4	Uniones por pegamento	861
12.4.5	Uniones por remachado	861

	Uniones por tornillos	863
	Uniones por aprieto	864

Protección contra la corrosión como cometido constructivo **864**

1	Modo de evitar la corrosión por agua de condensación	865
2	Prevención y protección contra la corrosión por grietas	866
3	Medios para evitar la corrosión de contacto	867

Dimensionado y cálculo de las construcciones **868**

1	Métodos	868
1.1	Hipótesis de cargas, sollicitación	868
1.2	Factores de seguridad	869
2	Bases para el cálculo	870
2.1	Valores característicos del material	870
2.2	Influencias de la forma	870
2.3	Resistencia a la fatiga de la pieza conformada	872
2.4	Tensiones internas	873
3	Procedimiento de cálculo	873
3.1	Cálculo de la resistencia	873
3.2	Cálculo de la rigidez	874
3.3	Cálculo de la estabilidad	874
3.4	Tensiones térmicas	874
3.5	Cálculo de construcciones mixtas	875
4	Cálculo de uniones	875
4.1	Uniones por soldadura por fusión	875
4.2	Uniones por soldadura por puntos	880
4.3	Uniones por pegamento	880
4.4	Uniones por roblonado	880
4.5	Uniones por tornillos	880

2.7 Prescripciones para hipótesis de cargas y cálculo **884**

2.7.1	Construcciones, con cargas en reposo	884
2.7.1.1	Materiales, fijaciones	884
2.7.1.2	Dimensionado	885
2.7.2	Vehículos sobre carriles	892
2.7.3	Recipientes a presión	893
	Bibliografía	899

3 Aplicaciones del aluminio **905**

3.1 Aluminio en el transporte **910**

3.1.1	Desarrollo histórico	910
3.1.2	Situación de la aplicación del aluminio en el transporte	911
3.1.2.1	Vehículos de turismo, accesorios	911
3.1.2.2	Remolques para turismos	925
3.1.2.3	Vehículos de dos ruedas	926
3.1.2.4	Vehículos industriales para transporte urbano	926
3.1.2.5	Vehículos sobre carriles	936
3.1.2.6	Construcción de barcos y botes	940
3.1.2.7	Aeronáutica y navegación espacial	942

3.2 Aluminio en la construcción de máquinas **944**

3.2.1	Aleaciones de aluminio para cojinetes de fricción	946
-------	---	-----

13.2.1	Aluminio en la construcción de herramientas, dispositivos y moldes	94
13.2.3	Cuerpos portantes de herramientas	94
13.2.4	Productos laminados especiales para campos específicos de la construcción de maquinaria	94
13.3	El aluminio en Electrotecnia	95
13.3.1	Tipos y características de los materiales de aluminio para conductores	95
13.3.1.1	Materiales normalizados	95
13.3.1.2	Materiales no normalizados	95
13.3.1.3	Usos y propiedades	95
13.3.2	Técnicas de unión para las conexiones conductoras eléctricas	95
13.3.2.1	Conexiones fijas	95
13.3.2.2	Conexiones desmontables	96
13.3.2.3	Uniones de carriles conductores de corriente	96
13.3.2.4	Comportamiento frente a la corrosión de las zonas de contacto	96
13.3.3	Carriles conductores de corriente de aluminio	96
13.3.3.1	Formas de suministro	96
13.3.3.2	Propiedades, dimensionado	96
13.3.3.3	Preparación, ajuste	96
13.3.3.4	Juntas de dilatación	96
13.3.4	Cables de aluminio	97
13.3.4.1	Conductores de aluminio en los cables	97
13.3.4.2	Envolturas de aluminio para cables	97
13.3.4.3	Tendido	97
13.3.4.4	Capacidad de carga	97
13.3.5	Conducciones de aluminio aéreas	97
13.3.5.1	Tipos de cables, aplicación	97
13.3.5.2	Normas, condiciones de suministro, prescripciones	97
13.3.5.3	Dimensionados, carga admisible	97
13.3.5.4	Tensiones de tracción, vanos de tendido	97
13.3.5.5	Uniones, sujeciones	97
13.3.5.6	Protección contra las oscilaciones	97
13.3.6	Bobinados de aluminio	97
13.3.6.1	Bobinados de alambre	97
13.3.6.2	Bobinados de banda	97
13.3.6.3	Inducidos en cortocircuito	98
13.3.7	Aluminio para pararrayos	98
13.3.8	Piezas de aluminio para la técnica de alta frecuencia, Electrónica	98
13.3.8.1	Conductores para alta frecuencia	98
13.3.8.2	Condensadores	98
13.3.8.3	Técnica de semiconductores	98
13.3.9	Células aluminio-aire	98
13.4	El aluminio en la construcción	98
13.4.1	Normas, directrices	98
13.4.2	Construcción metálica	98
13.4.2.1	Sistemas de elementos constructivos	98
13.4.2.2	Construcciones metálicas individuales	99
13.4.3	Construcción adicional, instalación	99

3.1	Cubierta del tejado, bloqueo del vapor y del agua	994
3.2	Amortiguamiento térmico con láminas de aluminio	995
3.3	Técnicas de calefacción y climatización	999
4	Piezas de construcción para el aprovechamiento de energías alternativas	1001
5	Fundición de aluminio en Arquitectura y Arte	1006
5.1	Placas de fundición de aluminio como elementos decorativos para fachadas	1006
5.2	Fundición artística de aluminio	1007
	Envasado con aluminio	1007
6.1	Láminas de aluminio como material de envase, banda fina	1009
6.1.1	Propiedades	1009
6.1.2	Aplicaciones de los envases de láminas de aluminio	1011
6.1.3	Cierre de envases de láminas	1012
6.1.4	Aplicaciones de los envases de banda fina	1012
6.2	Envases extrusionados	1014
	Recipientes y otros equipos de aluminio	1014
7	Polvo y granulado de aluminio	1017
7.1	Polvo, pasta	1017
7.1.1	Fabricación	1017
7.1.2	Propiedades	1018
7.2	Granulado, grano menudo	1018
7.3	Uso de los polvos y granulados	1018
7.3.1	Pigmento para colores de aluminio	1018
7.3.2	Material de relleno para plásticos	1020
7.3.3	Reactivos en aluminotermia	1020
7.3.4	Reactivos para la fabricación de hormigón de gas	1021
7.3.5	Reactivos en pirotecnia	1021
7.3.6	Otras aplicaciones	1021
8	Aplicaciones metalúrgicas	1021
8.1	Desoxidación del acero con aluminio	1021
8.2	Aluminio como componente de aleación	1022
8.2.1	Acero, hierro fundido	1022
8.2.2	Aleaciones de cobre	1023
8.2.3	Aleaciones de cinc	1023
8.2.4	Aleaciones de magnesio	1023
8.2.5	Aleaciones de titanio	1023
8.2.6	Aleaciones de níquel	1023
9	Aluminio para la protección del acero	1024
9.1	Recubrimiento del acero	1024
9.1.1	Metalización a la llama (aluminizado por proyección)	1024
9.1.2	Alitado (aluminizado del acero)	1025
9.1.3	Aluminizado por inmersión (aluminizado al fuego)	1025
9.1.4	Placado por laminación, placado por estirado	1027
9.1.5	Aluminizado químico-mecánico	1029
9.2	Protección catódica del acero	1030
10	Sometimiento a vapor, precipitado	1033
10.1	Vaporizado con aluminio	1033
10.2	Precipitados para fines especiales	1034
	Bibliografía	1035

14	Composiciones y comparación de materiales de aluminio equivalentes	1049
14.1	Materiales según DIN	1050
14.2	Materiales alemanes para fundición no normalizados	1058
14.3	Materiales de las Hojas Técnicas de Materiales	1059
14.4	Materiales del Registro Internacional de Aleaciones y aleaciones de fundición de la lista AA	1061
14.5	Comparación de las designaciones internacionales de materiales	1083
14.6	Comparación de designaciones de estado	1091
14.7	Materiales para la construcción de automóviles	1095
14.8	Materiales para cojinetes y sinterizados	1097
14.9	Comparación de las designaciones de firmas y marcas alemanas	1101
	Apéndice	1105
	Organismos y asociaciones	1106
	Designaciones del Sistema Internacional de unidades	1109
	Conversiones	1111
	Valores numéricos físicos y químicos	1121
	Índice alfabético	1125