

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I

### ACEROS AL CARBONO DE CONSTRUCCIÓN

	<u>Págs.</u>
1.—Generalidades . . . . .	1
2.—Clasificación general de los aceros . . . . .	2
3.—Nomenclatura. . . . .	5
4.—Aceros de construcción . . . . .	7
5.—Aceros ordinarios al carbono que se usan en bruto de forja o laminación . . . . .	8
6.—Clasificaciones generales de los aceros al carbono que se usan en bruto de forja o laminación. (Aceros de construcción) . . . . .	11
7.—Estudio de las características mecánicas en general de los aceros al carbono utilizados en bruto de forja o laminación . . . . .	12
8.—Estudio de las características de los hierros comerciales (aceros de bajo contenido en carbono) . . . . .	15
9.—Estudio de las características de los aceros semiduros utilizados en bruto de forja o laminación para la construcción de piezas de maquinaria en general. . . . .	17
10.—Influencia del contenido en manganeso, del contenido en fósforo y del espesor de las piezas, en las características mecánicas de los aceros al carbono normalizados . . . . .	18
11.—Resiliencia de los aceros al carbono normalizados . . . . .	21
12.—Influencia de pequeños porcentajes de elementos extraños en las características mecánicas de los aceros de bajo contenido en carbono . . . . .	22
13.—Aceros especiales de baja aleación y alto límite elástico . . . . .	24
14.—Aceros especiales de fácil mecanización . . . . .	27
15.—Aceros calmados y efervescentes . . . . .	29

## CAPÍTULO II

### TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS AL CARBONO

16.—Generalidades . . . . .	31
17.—Recocido . . . . .	31
18.—Normalizado . . . . .	36
19.—Temple y revenido . . . . .	36
20.—Características mecánicas de los aceros al carbono templados y revenidos correspondientes a probetas de poco espesor . . . . .	37
21.—Aceros que conviene utilizar para la fabricación de piezas de resistencia variable de 38 a 55 Kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	39
22.—Aceros al carbono que conviene utilizar y tratamientos térmicos más recomendables para la fabricación de piezas con resistencia superior a 55 Kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	40
23.—Influencia del espesor de las piezas en los resultados que se obtienen en los tratamientos térmicos . . . . .	40
24.—Factores que modifican las características mecánicas de los aceros al carbono tratados . . . . .	43

	<u>Págs.</u>
25.—Influencia de la microestructura en las características mecánicas de los aceros al carbono tratados . . . . .	45
26.—Determinación del porcentaje de martensita de los aceros templados . . . . .	47
27.—Aceros al carbono estirados en frío. . . . .	48
28.—Maquinabilidad de los aceros al carbono . . . . .	51

### X CAPÍTULO III

#### ACEROS ALEADOS (I)

29.—Generalidades . . . . .	53
30.—Influencia directa de los diversos elementos de aleación en ciertas características de los aceros . . . . .	54
31.—Clasificación de los aceros aleados de acuerdo con su utilización . . . . .	56
32.—Clasificación de los aceros aleados por su estructura microscópica. . . . .	57
33.—1.º Forma en que se encuentran los elementos especiales en los aceros recocidos . . . . .	61
34.—a) Elementos aleados que en los aceros recocidos se encuentran disueltos en la ferrita . . . . .	61
35.—b) Elementos que en los aceros recocidos se encuentran formando carburos. . . . .	63
36.—c) Elementos aleados que se presentan en forma de inclusiones no metálicas. . . . .	66
37.—d) Elementos aleados que en los aceros recocidos se encuentran en estado libre sin combinar . . . . .	66
38.—2.º Influencia de los elementos de aleación en el diagrama hierro-carbono. . . . .	66
39.—a) Efecto de los puntos críticos . . . . .	67
40.—b) Efecto de los elementos especiales sobre el contenido en carbono del acero eutectoide. . . . .	72
41.—c) Efecto de los elementos de aleación en los campos alfa y gamma y tendencias a estabilizar la ferrita o a estabilizar la austenita . . . . .	73
42.—d) Tendencia grafitizante de algunos elementos . . . . .	76
43.—e) Influencia sobre el tamaño de grano . . . . .	77

### X CAPÍTULO IV

#### ACEROS ALEADOS (II)

44.—Influencia de los elementos de aleación sobre la templabilidad . . . . .	79
45.—Influencia que tienen los elementos de aleación en el revenido . . . . .	81
46.—Influencia de los elementos de aleación en la resistencia a la corrosión y a elevadas temperaturas de los aceros . . . . .	83
47.—Influencia que ejercen en las características y propiedades de los aceros los elementos de aleación . . . . .	83
48 a 59.—Influencia de cada uno de los elementos níquel, cromo, molibdeno, wolframio, vanadio, manganeso, silicio, cobalto, aluminio, titanio, cobre y boro. . . . .	83 a 93

### CAPÍTULO V

#### ACEROS DE GRAN RESISTENCIA

60.—Generalidades . . . . .	99
61.—Aceros que pertenecen a este grupo . . . . .	99

	<u>Págs.</u>
62.—Templabilidad . . . . .	103
63.—Características mecánicas de los diferentes tipos de aceros de gran resistencia . . . . .	105
64.—Influencia del contenido en carbono . . . . .	107
65.—Medición de la templabilidad . . . . .	110
66.—Posible utilización de los aceros de gran resistencia . . . . .	111
67.—Clasificación de los aceros de gran resistencia . . . . .	113
68.—Tratamientos térmicos de los aceros de gran resistencia . . . . .	114
69.—Recocido . . . . .	115
70.—Temple . . . . .	116
71.—Revenido. . . . .	119
72.—Utilización y empleo de los aceros de gran resistencia . . . . .	120
73.—Aceros de gran resistencia para la fabricación de engranajes . . . . .	121
74.—Aceros con bandas de templabilidad . . . . .	123

CAPÍTULO VI

**ACEROS PARA MUELLES**

75.—Generalidades . . . . .	127
76.—Principales características de los aceros para muelles . . . . .	127
77.—Composiciones de los aceros para muelles . . . . .	128
78.—Forma de suministro de los aceros para muelles y procesos empleados para la fabricación de los muelles . . . . .	132
79.—Tratamiento térmico de los aceros para muelles . . . . .	138
80.—Cálculo de muelles helicoidales. . . . .	141
81.—Algunos fracasos que ocurren en la fabricación de muelles . . . . .	147

CAPÍTULO VII

**ACEROS DE CEMENTACIÓN (I)**

82.—Generalidades . . . . .	151
83.—Principales clases de aceros de cementación . . . . .	151
84.—Aceros al carbono . . . . .	155
85.—Aceros débiles aleados . . . . .	156
86.—Aceros de alta aleación . . . . .	157
87.—Selección de los aceros de cementación . . . . .	157
88.—Tamaño de grano o posible crecimiento del tamaño de grano de los aceros de cementación . . . . .	158
89.—Influencia de los elementos aleados en los aceros de cementación . . . . .	160
90.—Capa cementada . . . . .	164
91.—Características mecánicas de la capa cementada . . . . .	166
92.—Medida del espesor de la capa cementada y de la capa dura . . . . .	168
93.—Procesos de cementación . . . . .	170
94.—Mecanismo de la cementación . . . . .	171
95.—Cementación con materias sólidas . . . . .	173

CAPÍTULO VIII

**ACEROS DE CEMENTACIÓN (II)**

96.—Endurecimiento superficial con baños de sales fundidas. . . . .	175
97.—Cianuración . . . . .	176

	<u>Págs.</u>
98.—Cementación en baño de sales . . . . .	180
99.—Cementación con gases . . . . .	184
100.—Tipos de hornos empleados . . . . .	184
101.—Atmósferas carburantes. . . . .	185
102.—Carbonitruración . . . . .	189
103.—Fabricación de piezas cementadas . . . . .	192
104.—Tratamiento de los aceros antes de la cementación . . . . .	195

## CAPÍTULO IX

## ACEROS DE NITRURACIÓN

105.—Generalidades . . . . .	197
106.—Aceros de nitruración más empleados . . . . .	198
107.—Características mecánicas . . . . .	200
108.—Profundidad de la capa nitrurada . . . . .	200
109.—Evolución del procedimiento y técnica de la nitruración . . . . .	202
110.—Diagrama hierro-nitrógeno . . . . .	203
111.—Mecanismo del endurecimiento por nitruración . . . . .	206
112.—Descarburación . . . . .	209
113.—Ventajas de la nitruración . . . . .	210
114.—Instalaciones de nitrurar . . . . .	211
115.—Disociación del amoníaco . . . . .	212
116.—Medida de la disociación . . . . .	213
117.—Proceso de la nitruración . . . . .	215
118.—Precauciones para evitar explosiones en la nitruración . . . . .	218
119.—Deformaciones en las piezas nitruradas . . . . .	219
120.—Aumento de volumen . . . . .	219
121.—Nitruración de herramientas de acero rápido. . . . .	220

## CAPÍTULO X

## ACEROS PARA LA FABRICACIÓN DE CHAPA MAGNÉTICA

122.—Generalidades . . . . .	221
123.—Aceros para la fabricación de chapa magnética . . . . .	221
124.—Definiciones de ciertas propiedades magnéticas . . . . .	222
125.—Principales propiedades que deben poseer los aceros para chapa magnética . . . . .	224
126.—Evolución de los diferentes tipos de acero . . . . .	227
127.—Acero al carbono extradulce . . . . .	229
128.—Hierro Armco . . . . .	230
129.—Hierros de gran pureza . . . . .	231
130.—Fundición . . . . .	232
131.—Acero moldeado . . . . .	233
132.—Aceros al silicio . . . . .	233
133.—Características mecánicas . . . . .	234
134.—Factores que modifican los valores de las pérdidas magnéticas. . . . .	235
135.—Principales aplicaciones de los aceros al silicio . . . . .	236
136.—Modernos estudios sobre chapas magnéticas . . . . .	237
137.—Procesos industriales que se utilizan para la fabricación de chapas magnéticas . . . . .	239
138.—Aleaciones de alta permeabilidad . . . . .	241

	<u>Págs.</u>
139.—Aleaciones con muy alta permeabilidad inicial (Permalloy, Permalloy C y Supermalloy) . . . . .	242
140.—Aleaciones de alta permeabilidad (Permalloy B Hipernik). . . . .	243
141.—Aleaciones con alto valor de saturación (Hiperco y Permendur) . . . . .	243
142.—Aleaciones de permeabilidad constante (Conpernik, Isoperm y Perminvar). . . . .	244
143.—Aleaciones para realizar compensaciones magnéticas al variar la temperatura (aleaciones de gran variación de permeabilidad con la temperatura). (Compensator y Thermoperm.) . . . . .	245
144.—Aleaciones con cambio de dimensiones en la magnetización . . . . .	246
145.—Aceros amagnéticos . . . . .	247

× CAPÍTULO XI

**ACEROS Y ALEACIONES PARA IMANES**

146.—Generalidades . . . . .	249
147.—Principales características de los aceros y aleaciones para imanes . . . . .	249
148.—Clasificación . . . . .	253
149.—Características de los diversos aceros y aleaciones que se emplean para fabricar imanes . . . . .	255
150.—Aceros al cromo . . . . .	255
151.—Aceros al wolframio . . . . .	256
152.—Otros tipos de aceros . . . . .	256
153.—Aceros al cobalto. . . . .	257
154.—Tratamientos térmicos y mecánicos de los aceros para imanes . . . . .	258
155.—Recocido . . . . .	258
156.—Temple . . . . .	259
157.—Revenido . . . . .	259
158.—Aleaciones para imanes . . . . .	260
159.—Imanes anisótropos . . . . .	262
160.—Alnico . . . . .	263
161.—Comol . . . . .	265
162.—Cunife y Cunico . . . . .	265
163.—Vicalloy . . . . .	266
164.—Silmanal . . . . .	267
165.—Vectolite . . . . .	267
166.—Aleación K-S. . . . .	267
167.—Magnetización . . . . .	268
168.—Envejecimiento . . . . .	268

CAPÍTULO XII

**ACERO DE HERRAMIENTAS**

169.—Generalidades . . . . .	271
170.—Clasificación de los aceros de herramientas . . . . .	272
171.—Principales tipos de aceros de herramientas . . . . .	275
172.—Principales características de los aceros de herramientas . . . . .	279
173.—Dureza y tenacidad . . . . .	280
174.—Indeformabilidad . . . . .	281
175.—Resistencia al desgaste . . . . .	281
176.—Dureza en caliente. . . . .	282
177.—Importancia del estudio de las herramientas características de los aceros de herramientas . . . . .	283

## CAPÍTULO XIII

## ACEROS DE HERRAMIENTAS AL CARBONO

	Págs.
178.—Generalidades . . . . .	285
179.—Influencia del contenido en carbono . . . . .	285
180.—Características mecánicas en bruto de forja o laminación . . . . .	286
181.—Temperaturas críticas . . . . .	286
182.—Tratamientos térmicos . . . . .	286
183.—Recocido . . . . .	287
184.—Temple . . . . .	290
185.—Temple interrumpido. Temple en agua y aceite . . . . .	293
186.—Revenido . . . . .	295
187.—Penetración de temple de los aceros de herramientas al carbono . . . . .	296
188.—Utilización de los aceros de herramientas al carbono . . . . .	300
189.—Influencia del contenido en manganeso . . . . .	300
190.—Ensayo de choque por torsión . . . . .	301
191.—Aceros de herramientas al carbono con pequeñas cantidades de elementos de aleación . . . . .	303
192.—Aceros de herramientas al carbono con pequeñas cantidades de vanadio. . . . .	303
193.—Aceros de herramientas al carbono con pequeños contenidos de cromo. . . . .	304

## X CAPÍTULO XIV

## ACEROS RÁPIDOS

194.—Generalidades . . . . .	305
195.—Características y composiciones . . . . .	306
196.—Clasificación . . . . .	306
197.—Aceros con wolframio . . . . .	306
198.—Aceros con cobalto . . . . .	308
199.—Aceros rápidos con molibdeno . . . . .	308
200.—Velocidades de corte de los aceros rápidos . . . . .	311
201.—Microestructura de los aceros rápidos en bruto de colada . . . . .	312
202.—Microestructura de los aceros rápidos recocidos y templados . . . . .	316
203.—Diferentes clases de carburos que aparecen en los aceros rápidos . . . . .	317
204.—Variaciones que experimentan los constituyentes de los aceros rápidos en el calentamiento a elevada temperatura . . . . .	318
205.—Influencia de los diferentes elementos en las propiedades de los aceros rápidos . . . . .	321
206.—Forja y tratamientos térmicos de los aceros rápidos . . . . .	322
207.—Recocido . . . . .	324
208.—Temple . . . . .	326
209.—Revenido . . . . .	330
210.—Doble revenido . . . . .	333
211.—Curva de la S en los aceros rápidos . . . . .	334

## CAPÍTULO XV

## ACEROS INDEFORMABLES

212.—Generalidades . . . . .	335
213.—Aceros indeformables al manganeso . . . . .	339
214.—Acero de 5 % de cromo . . . . .	342

	<u>Págs.</u>
215.—Aceros de 12 % de cromo . . . . .	342
216.—Forja y tratamientos térmicos de los aceros indeformables . . . . .	345
217.—Recocido . . . . .	346
218.—Temple . . . . .	347
219.—Influencia de la microestructura en los resultados que se obtienen en el temple de los aceros de 5 y 12 % de cromo . . . . .	348
220.—Revenido. . . . .	350
221.—Estudio de las deformaciones que se producen en el temple y revenido, de los aceros de herramientas . . . . .	351
222.—Deformaciones y grietas en el temple de herramientas en general, como troqueles, cortantes, fresas, etc. . . . .	353

CAPÍTULO XVI

**ACEROS PARA TRABAJOS EN CALIENTE**

223.—Generalidades . . . . .	359
224.—Aceros para herramientas dedicadas a trabajos de forja y estampación en caliente . . . . .	364
225.—Durezas más convenientes para las diferentes clases de estampas . . . . .	366
226.—Aceros al carbono . . . . .	367
227.—Aceros de media aleación con 0,30 a 0,60 % de carbono y cantidades variables de cromo, níquel y molibdeno . . . . .	369
228.—Bloques para estampas con tratamiento térmico . . . . .	371
229.—Acero con cromo y wolframio de baja aleación . . . . .	372
230.—Aceros de 5 % de cromo . . . . .	375
231.—Aceros de 9 y 15 % de wolframio . . . . .	377
232.—Aceros para la fabricación de moldes para fundición de metales ligeros y aleaciones varias . . . . .	381
233.—Aceros destinados a la fabricación de troqueles para la industria de plásticos . . . . .	383

CAPÍTULO XVII

**ACEROS DE HERRAMIENTAS PARA USOS VARIOS**

234.—Generalidades . . . . .	387
235.—Aceros aleados de corte para herramientas varias . . . . .	387
236.—Clasificación de los aceros para herramientas varias, por el método de enfriamiento que se emplea en el temple (agua o aceite) . . . . .	390
237.—Determinación de las temperaturas de temple más recomendables . . . . .	393
238.—Clasificación de los aceros para herramientas varias por el contenido en carbono que contienen . . . . .	395
239.—Tratamientos térmicos . . . . .	397
240.—Descripción de algunos de los más clásicos aceros pertenecientes al grupo de aceros para herramientas varias . . . . .	397
241.—Aceros para la fabricación de herramientas de gran tenacidad para trabajos de choque y corte . . . . .	401
242.—Algunos problemas que se presentan en la fabricación de herramientas de choque . . . . .	404
243.—Herramientas para acuñación de medallas, monedas, etc. . . . .	406
244.—Descripción y estudio de algunos aceros utilizados para la fabricación de herramientas para trabajos de choque . . . . .	408

	Págs.
245.—Acero austenítico al manganeso (acero Hadfield) . . . . .	411
246.—Microestructura de los aceros al manganeso . . . . .	412
247.—Modificaciones de la microestructura de los aceros austeníticos al manganeso cuando son calentados a temperaturas variables de 200° a 800° . . . . .	414
248.—Endurecimiento del acero austenítico por acritud. . . . .	414
249.—Resistencia al desgaste . . . . .	416
250.—Maquinabilidad . . . . .	416
251.—Aceros grafiticos . . . . .	417

## CAPÍTULO XVIII

## ACEROS INOXIDABLES (I)

252.—Generalidades . . . . .	423
253.—Estudio de algunas teorías y factores que tienen gran importancia en los fenómenos de corrosión . . . . .	425
254.—Teoría ácida . . . . .	426
255.—Teoría electroquímica. . . . .	426
256.—Corrosión química directa y resistencia que a este fenómeno ofrecen los diferentes metales . . . . .	428
257.—Importancia en los fenómenos de corrosión del carácter de la capa de óxido que se forman sobre la superficie de los metales . . . . .	429
258.—Influencia de la temperatura en los fenómenos de corrosión . . . . .	429
259.—Protección del hierro por el cinc y el estaño . . . . .	430
260.—La pasividad en los fenómenos de corrosión . . . . .	431
261.—Composición de la capa de óxido (casarilla) que se forma sobre la superficie de los aceros al ser calentados a elevada temperatura . . . . .	432
262.—¿Por qué y cuándo los aceros inoxidables resisten la corrosión? . . . . .	432
263.—Algunos aceros que sin ser inoxidables resisten mejor a la corrosión que los aceros ordinarios . . . . .	435
264.—Aceros inoxidables de uso más corriente . . . . .	437
265.—Diagramas de constitución . . . . .	441
266.—Diagramas de los aceros aleados con cromo (Martensíticos y Ferríticos). . . . .	442
267.—Diagrama de los aceros cromo-níqueles (Austeníticos) . . . . .	445
268.—La fase sigma de los aceros . . . . .	448

## CAPÍTULO XIX

## ACEROS INOXIDABLES (II)

269.—Aceros inoxidables martensíticos . . . . .	451
270.—Principales propiedades de los aceros inoxidables martensíticos de 13 % de cromo . . . . .	451
271.—Tratamientos térmicos . . . . .	453
272.—Aceros inoxidables martensíticos de elevada dureza . . . . .	457
273.—Acero martensítico con 12 a 16 % de cromo y 2 % de níquel . . . . .	457
274.—Aceros inoxidables martensíticos de fácil mecanización . . . . .	458
275.—Aceros inoxidables ferríticos . . . . .	459
276.—Características mecánicas y tratamientos térmicos . . . . .	462
277.—Aceros ferríticos con nitrógeno, columbio o titanio . . . . .	463
278.—Aceros austeníticos. . . . .	465
279.—Principales propiedades de los aceros inoxidables cromo-níqueles austeníticos. . . . .	465



280.—Influencia que ejercen en los aceros inoxidables austeníticos los diferentes elementos de aleación. . . . .	467
281.—Descripción de cada uno de los principales tipos de aceros inoxidables cromo-níqueles austeníticos . . . . .	469
282.—Aceros para válvulas de motores de explosión . . . . .	475
283.—Corrosión intergranular de los aceros inoxidables austeníticos . . . . .	480
284.—Medios empleados para prevenir la corrosión intergranular. . . . .	484
285.—Tratamientos térmicos de los aceros inoxidables cromo-níqueles austeníticos . . . . .	486
286.—Aceros inoxidables que se utilizan para trabajos a altas temperaturas. . . . .	487
287.—Aleaciones especiales para trabajos a muy elevadas temperaturas . . . . .	493
288.—El «creep» en los aceros . . . . .	497

## CAPÍTULO XX

## ENSAYO DE CHISPAS

289.—Generalidades . . . . .	509
290.—Formación de chispas . . . . .	510
291.—Examen de las chispas . . . . .	510
292.—Aceros al carbono . . . . .	511
293.—Resumen . . . . .	516
294.—Chispas de las fundiciones . . . . .	517
295.—Determinación rápida de la presencia del níquel en los aceros . . . . .	518

## APÉNDICE

Tablas de composiciones y equivalencias de aceros fabricados por diferentes empresas y normalizados en diferentes países . . . . .	521
Curvas de la S de algunos aceros HEVA . . . . .	543