

ÍNDICE

CAPÍTULO I

DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

	<u>Págs.</u>
1.—Generalidades	1
2.—Solidificación de los metales puros	1
3.—Soluciones de agua y cloruro sódico.	2
4.—Aleaciones bismuto-cadmio	5
5.—Aleaciones cobre-plata	6
6.—Aleaciones plomo-estaño	10
7.—Aleaciones oro-plata	11
8.—Aleaciones hierro-carbono	12
9.—Generalidades sobre la solubilidad de los metales.	16
10.—Proceso de enfriamiento desde el estado líquido hasta la temperatura ambiente, de siete aleaciones hierro-carbono	20
11.—Transformaciones que experimentan los aceros de menos de 0,50 % de carbono en la zona 1.400°-1.535°	29
12.—Disolución del carbono o carburo de hierro en la ferrita o hierro alfa	31

CAPÍTULO II

TEMPERATURAS CRÍTICAS DEL HIERRO Y DE LOS ACEROS

13.—Generalidades	33
14.—Estados alotrópicos y puntos críticos del hierro puro	33
15.—Hierro alfa y hierro gamma	35
16.—Hierro alfa no magnético	38
17.—Hierro delta.	38
18.—Puntos críticos de los aceros.	38
19.—Estudios de los puntos críticos de los aceros	42
20.—Determinación de los puntos críticos	45
21.—Procedimientos usados para la determinación de los puntos críticos	46
22.—Curvas para la determinación de los puntos críticos	47
23.—Utilización de cuerpos neutros	49
24.—Dilatómetro con cuadrante indicador	50
25.—Dilatómetro Chevenard	51
26.—Dilatómetro diferencial Chevenard de registro mecánico.	56
27.—Aparato Brown	62
28.—Aparato Saladin-Le Chatelier	65

CAPÍTULO III

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

29.—Generalidades	69
30.—Tratamientos térmicos más usados.	69

	<u>Págs.</u>
31.—Recocido de regeneración, temple y normalizado	75
32.—Calentamiento para el recocido de regeneración, temple y normalizado	76
33.—Temperaturas convenientes para el recocido, temple y normalizado de los aceros hipoeutectoides al carbono y aleados con austenización completa.	79
34.—Duración del calentamiento (permanencia a temperatura) en los recocidos de regeneración, temple y normalizado	80
35.—Crecimiento de los cristales de austenita con el calentamiento	82
36.—Estudio de la velocidad de enfriamiento en el recocido de regeneración con austenización completa	85
37.—Terminación del recocido	87
38.—Recocido globular de austenización incompleta (aceros hipereutectoides).	88
39.—Recocidos más recomendados para los diferentes tipos de aceros	90
40.—Teoría del temple. Enfriamiento	92
41.—Necesidad de sobrepasar las temperaturas críticas de austenización en el temple de los aceros hipoeutectoides	96
42.—Temple de los aceros hipoeutectoides.	100
43.—Teoría del normalizado. Enfriamiento	101

CAPÍTULO IV

CONSTITUYENTES MICROSCÓPICOS DE LOS ACEROS

44.—Generalidades	105
45.—Aceros recocidos	106
46.—Ferrita	107
47.—Cementita	108
48.—Perlita	110
49.—Aceros templados	112
50.—Austenita	114
51.—Martensita	116
52.—Troostita	120
53.—Sorbita	122
54.—Bainita	124
55.—Carburos	126
56.—Distribución y efecto de los elementos aleados.	129
57.—Inclusiones no metálicas	129
58.—Ataque de las probetas	132

CAPÍTULO V

CURVA DE LA «S»

59.—Generalidades	135
60.—Métodos utilizados para la determinación de la curva de la «S» en los aceros	136
61.—Transformación isotérmica de la austenita a diversas temperaturas	141
62.—Constituyentes microscópicos que aparecen en las transformaciones isotérmicas de la austenita	145
63.—Avance de la transformación de la austenita.	152
64.—Factores que modifican el diagrama de las transformaciones isotérmicas de la austenita	155
65.—Relación entre las transformaciones de la austenita en los enfriamientos continuos y las transformaciones a temperatura constante.	159

66.—Aplicación industrial del estudio de la curva de la «S»	161
67.—Diferentes tipos de curva de la «S».	164
68.—Un método para determinar la transformación de la austenita en la zona martensítica	165

CAPÍTULO VI

INFLUENCIA DE DIVERSOS FACTORES EN EL TEMPLE DE LOS ACEROS

69.—Composición, tamaño de grano, tamaño de las piezas y medio de enfriamiento	167
70.—Influencia de la composición	167
71.—Influencia del tamaño del grano	169
72.—Influencia del tamaño de las piezas	170
73.—Influencia del medio de enfriamiento.	172
74.—Características de los procesos de enfriamiento en el temple de los aceros.	177
75.—Elección del medio de temple	181
76.—Medios de enfriamiento más empleados en el temple de los aceros	185
77.—Sales fundidas	187

CAPÍTULO VII

TEMPLABILIDAD O PENETRACIÓN DE TEMPLE

78.—Generalidades	191
79.—Diversos métodos para estudiar el comportamiento de los aceros en el temple	194
80.—Examen de las fracturas.	195
81.—Curvas de dureza de redondos de diferentes diámetros templados	195
82.—Determinación de las curvas de dureza empleando discos de acero	198
83.—Curvas de resistencia	198
84.—Ataque químico de las secciones templadas	199
85.—Determinación de la zona con 50 % de martensita	202
86.—Diámetro crítico ideal.	206

CAPÍTULO VIII

ENSAYO JOMINY

87.—Generalidades	211
88.—Curvas Jominy	216
89.—Bandas de templabilidad	217
90.—Determinación de la curva Jominy en función de la composición y del tamaño del grano.	218
91.—Determinación del diámetro crítico ideal de un acero por medio del ensayo Jominy.	227
92.—Un procedimiento para determinar la penetración de temple en los redondos de acero con ayuda de las curvas Jominy	227
93.—Importancia del grado de agitación del medio de enfriamiento	233
94.—Determinación de las durezas y resistencias en los redondos de acero después del temple y revenido	234
95.—Determinación por medio del ensayo Jominy de las temperaturas de transformación de los aceros en el enfriamiento continuo.	235

CAPÍTULO IX

REVENIDO

	Págs.
96.—Generalidades	241
97.—Modificación de las características mecánicas.	242
98.—Modificaciones de volumen en el revenido	244
99.—Modificación de los constituyentes microscópicos	244
100.—Transformaciones microscópicas en el revenido de los aceros con austenita residual	252
101.—Austenita residual en los aceros templados	256
102.—Transformaciones de la austenita residual	256
103.—Doble revenido	258
104.—Fragilidad de revenido en la zona 250 a 400°.	259
105.—Fragilidad del revenido (fragilidad Krupp).	262
106.—Influencia de diversos factores en el fenómeno de fragilidad de revenido	265
107.—Influencia de la duración del revenido en la dureza	271
108.—Colores de revenido.	273

CAPÍTULO X

TRATAMIENTOS ISOTÉRMICOS

109.—Generalidades	275
110.—Recocido isotérmico	277
111.—Austempering	280
112.—Martempering.	284
113.—Patenting.	289
114.—Tratamiento subcero	292
115.—Temple en agua y en aceite	297

CAPÍTULO XI

DIVERSOS TRATAMIENTOS DE ABLANDAMIENTO DIFERENTES DEL RECOCIDO DE REGENERACIÓN

116.—Estructuras globulares	299
117.—Recocido globular	300
118.—Características del acero con estructura esferoidal después del temple y revenido	304
119.—Recocido subcrítico de ablandamiento	306
120.—Recocido de los aceros estirados en frío de bajo contenido en carbono	308
121.—Modificación de las características de los aceros por estirado en frío	309
122.—Modificación de características de los aceros estirados en frío por envejecimiento o maduración	311
123.—Aceros estabilizados	315
124.—Crecimiento del grano en el recocido de los aceros extradulces estirados en frío	316
125.—Recocido de los aceros estirados en frío de más de 0,30 % de carbono	319

CAPÍTULO XII

CEMENTACIÓN

126.—Generalidades	321
127.—Instalaciones de cementar.	324

	Págs.
128.—Capa cementada	326
129.—Cementación con materias sólidas	327
130.—Endurecimiento superficial con baños de sales fundidas.	331
131.—Cianuración	334
132.—Cementación en baños de sales	338
133.—Determinación del contenido en cianuro sódico	342
134.—Cementación con gases	343
135.—Tipos de hornos empleados	343
136.—Atmósferas carburantes.	344
137.—Carbonitruración	347
138.—Sulfinización.	350

CAPÍTULO XIII

CEMENTACIÓN (II)

139.—Generalidades	353
140.—Aceros al carbono	356
141.—Aceros débilmente aleados.	357
142.—Aceros de alta aleación	358
143.—Selección de los aceros de cementación	359
144.—Tamaño de grano o posible crecimiento del tamaño de grano de los aceros de cementación	359
145.—Influencia de los elementos aleados en los aceros de cementación	361
146.—Capa cementada	365
147.—Características mecánicas de la capa cementada	367
148.—Medida del espesor de la capa cementada y de la capa dura	370
149.—Determinación de los esfuerzos a que está sometida la capa cementada	372
150.—Características mecánicas del núcleo central.	374
151.—Diferentes clases de tratamientos que se pueden dar a las piezas cementadas.	380
152.—Protección de las zonas que no se desea endurecer.	382

CAPÍTULO XIV

NITRURACIÓN

153.—Generalidades	385
154.—Ventajas de la nitruración	386
155.—Teoría de la nitruración	388
156.—Diagrama hierro-nitrógeno	389
157.—Mecanismo del endurecimiento por nitruración.	393
158.—Descarburación	395
159.—Composición de los aceros de nitruración	396
160.—Características mecánicas	398
161.—Instalaciones de nitrurar	399
162.—Medida de la disociación	400
163.—Proceso de la nitruración	401
164.—Deformaciones de las piezas nitruradas	404
165.—Nitruración de herramientas de acero rápido	405

CAPÍTULO XV

ENDURECIMIENTO POR TEMPLE SUPERFICIAL

166.—Calentamiento por llama oxiacetilénica	407
167.—Ventajas del temple oxiacetilénico	410

	<u>Págs.</u>
168.—Clases de aceros	411
169.—Calentamiento por corrientes de inducción de alta frecuencia	412
170.—Instalaciones para el calentamiento	414
171.—Dispositivos de temple.	415
172.—Control de la profundidad de calentamiento.	418
173.—Bombardeo de perdigones.	419

CAPÍTULO XVI

CAMBIOS DE VOLUMEN Y DEFORMACIONES DE LOS ACEROS EN LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

174.—Generalidades	421
175.—Cambios de volumen por dilatación o contracción térmica	421
176.—Cambios de volumen debidos a la modificación de los constituyentes	421
177.—Variaciones en la forma y dimensiones en las piezas debidas a las deformaciones plásticas en caliente	423
178.—Algunos ejemplos de deformaciones en los tratamientos	423
179.—Influencia de la composición	431

CAPÍTULO XVII

TAMAÑO DE GRANO

180.—Generalidades	433
181.—Formación y crecimiento de los granos de austenita.	435
182.—Determinación del tamaño del grano	438
183.—Métodos microscópicos.	439
184.—Ensayo de fractura	447

CAPÍTULO XVIII

DESCARBURACIÓN SUPERFICIAL DE LOS ACEROS

185.—Acción de las atmósferas de los hornos sobre los aceros	451
186.—Descarburación	452
187.—Influencia descarburante de diferentes gases.	453
188.—Estudio del equilibrio de diferentes mezclas gaseosas en las atmósferas de los hornos	455
189.—Punto de rocío	458
190.—Diferentes tipos de atmósferas usadas para el tratamiento térmico de los aceros.	459
191.—Instalaciones empleadas para la producción de atmósferas controladas	461
192.—Mejoramiento y purificación de las atmósferas controladas por eliminación de la humedad y del anhídrido carbónico que contienen	462
193.—Atmósferas preparadas con gases combustibles quemados o parcialmente quemados.	465
194.—Atmósferas preparadas por la disociación de un gas combustible	468
195.—Atmósferas preparadas con amoníaco.	469
196.—Recocido de los aceros de herramientas en cajas con carbón vegetal o con viruta de fundición	470
197.—Gas producido por gasógeno de carbón de madera	471
198.—Atmósferas más usadas para el tratamiento de diversos tipos de aceros	472

CAPÍTULO XIX

ENSAYOS DE LOS METALES Y ALEACIONES

	Págs.
199.—Generalidades	477
200.—Clases de ensayo	478
201.—Ensayos de dureza	479
202.—Dureza mineralógica	481
203.—Ensayo Martens	481
204.—Ensayo de la lima	482
205.—Ensayo Brinell	483
206.—Precauciones para hacer el ensayo	486
207.—Tipos de máquinas	486
208.—Ensayo de penetración por choque	494
209.—Ensayo Rockwell	494
210.—Ensayo Vickers	501
211.—Ensayo Shore	504
212.—Resumen	507

CAPÍTULO XX

ENSAYOS DE TRACCIÓN

213.—Generalidades	513
214.—Forma de hacer el ensayo	514
215.—Resultados que se obtienen al utilizar diferentes modelos de probetas	525
216.—Observación de la fractura de la probeta	529
217.—Influencia del estado del material y de la forma de sacar la probeta	530
218.—Orientación de la probeta	531
219.—Influencia del coeficiente de forja o laminación	532
220.—Influencia de la penetración de temple	533

CAPÍTULO XXI

ENSAYO DE CHOQUE

221.—Generalidades	535
222.—Dificultades que presenta la interpretación de los valores de resiliencia en el cálculo y construcción de piezas	538
223.—Péndulo Charpy	539
224.—Péndulo Izod	544
225.—Ensayos de fatiga	545
226.—Influencia del estado superficial de los materiales en las roturas por fatiga	549
227.—Ensayos	551
228.—Ensayos de embutición	558

CAPÍTULO XXII

MEDIDA DE TEMPERATURAS

229.—Generalidades	563
230.—Escalas de temperaturas	564
231.—Temperaturas empleadas para el control de pirómetros	566
232.—Aparatos empleados para la medida de temperaturas	568

	Págs.
233.—Termómetros de dilatación de cuerpos sólidos	570
234.—Termómetros de dilatación de líquidos	571
235.—Termómetros de gas	573
236.—Termómetros de vapor a presión	574
237.—Termómetros de resistencia eléctrica	574
238.—Pirómetros	576
239.—Termopares de uso más corriente	581
240.—Termopares de uso más frecuente	581
241.—Tubos de protección	585
242.—Unión fría	587
243.—Hilos de compensación	591
244.—Aparatos indicadores	593
245.—Milivoltímetros indicadores	594
246.—Potenciómetros	594
247.—Precisión en la medida de temperaturas empleando pirómetros termo- eléctricos	598
248.—Conos Seger	600
249.—Medida de la temperatura por cambio de color de ciertas pinturas	601
250.—Pirómetros de radiación	601
251.—Temperatura y radiación	601
252.—Cuerpos negros	604
253.—Principio del funcionamiento de los pirómetros de radiación total	606
254.—Pirómetros ópticos de desaparición de filamento	609
255.—Pirómetros fotoeléctricos	612

APÉNDICE

I. Composición de los aceros del Instituto del Hierro y del Acero. ES- PAÑA	616
II. Composición de los aceros CTA de «Le Centre d'Etudes Techniques de l'Automobile et du Cycle» (1946). FRANCIA	618
III. Composición de los aceros EN de «The British Standards Institution» (1947). INGLATERRA	620
IV. Composición de aceros de uso normal en ALEMANIA	622
V. Composición de aceros de uso normal en ALEMANIA. Aceros inoxi- dables	623
VI. Composición de aceros de uso normal en ALEMANIA. Aceros de fácil maquinabilidad	624
VII. Composición de aceros de uso normal en ALEMANIA. Aceros aleados de herramientas	625
VIII. Composición de aceros de uso normal en ALEMANIA. Aceros resis- tentes al calor	626
IX. Composición de los aceros UNI de «Ente Nazionale per L'Unificazione nell'industria. ITALIA	627
X. Composición de los aceros AISI-SAE de «The Society of Automotive Engineers y The American Iron and Steel Institute» (1947). ESTADOS UNIDOS	628
XI. Composición de los aceros de herramientas de «The American Iron and Steel Institute». ESTADOS UNIDOS	632
XII. Composición de aceros de uso normal en ESTADOS UNIDOS	633
XIII. Equivalencias aproximadas entre los aceros del Instituto del Hierro y del Acero, Aviación, varias Empresas nacionales y las normas DIN. ESPAÑA	634

XIV.	Equivalencias aproximadas entre los aceros del Instituto del Hierro y del Acero, Aviación, varias Empresas nacionales y las normas DIN. ESPAÑA	635
XV.	Aceros Especiales HEVA. Aceros de Construcción	636
XVI.	Aceros Especiales HEVA. Aceros de Herramientas.	637
XVII.	Durezas y resistencias aproximadas de los aceros HEVA de Construcción	638
XVIII.	Durezas y resistencias aproximadas de los aceros HEVA de Herramientas	639
XIX.	Equivalencias entre temperaturas en escalas Centígrada y Fahrenheit	640
XX.	Temperatura de recocido de los aceros HEVA y de los aceros del Instituto del Hierro y del Acero	642