



Libro de Datos de Tratamiento de Calor

Décima Edición Electrónica

Publicado por
SECO/Warwick Corporation
180 Mercer St., PO Box 908, Meadville, PA 16335 USA
www.secowarwick.com

SECO/WARWICK Corp. es un miembro del
grupo de compañías [SECO/WARWICK Group](#) (SWG)

El libro de Datos de Tratamiento de Calor de SECO/WARWICK contiene información acerca de los metales usados en procesos de tratamiento de calor. Este libro no tiene el objetivo de fungir como libro de texto; sino servir como una colección de referencias frecuentemente utilizadas que sirvan a las personas interesadas en la tecnología de tratamiento de calor.

La información de referencia está incluida para los tipos de acero, aluminio y atmósferas de protección utilizadas comúnmente en procesos de tratamiento de calor. También se incluyen gráficas, tablas y cálculos simples acerca de una variedad de atmósferas y vacíos en los procesos de tratamiento de calor.

Este libro ha sido publicado tanto en formato impreso como en formato digital para que pueda ser utilizado por estudiantes, operadores de hornos de tratamienda de calor, ingenieros de planta, metalúrgicos e ingenieros de diseño como una referencia rápida a la industria; que nuestros clientes – personas dedicadas comercialmente a los procesos de tratamiento de calor – han encontrado útil.

Si Ud. ahorra tiempo, nosotros sentimos que el libro ha logrado su propósito.

La información encontrada aquí ha sido compilada de fuentes que bajo nuestra opinión son confiables; pero no asumimos ninguna responsabilidad por su exactitud o por los eventos que resulten de su aplicación. Igualmente, no asumimos ninguna responsabilidad en caso de que resulte una violación a alguna patente durante la aplicación de dicha información.

© Ados los Derechos Reservados 2011 SECO/WARWICK

Tabla de Contenidos

Capítulo 1 – Datos del Acero 5

ESPECIFICACIONES DEL ACERO DE ACUERDO A A.I.S.I. - S.A.E.	5
SISTEMA DE NUMERACIÓN BÁSICA SAE PARA LOS ACEROS	5
TABLA 1A – COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO APLICABLES A PRODUCTOS SEMI-TERMINADOS PARA FORJA, TERMINADO DE BARRAS LAMINADAS EN FRÍO O CALIENTE, VARILLAS DE ALAMBRE Y TUBOS SIN SOLDADURA	7
TABLA 1B – COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO APLICABLES SÓLO ESTRUCTURALMENTE A FORMAS, PLACAS, TIRAS, HOJAS Y SOLDUARA DE TUBOS	9
TABLA 2A – COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO CORTADO LIBREMENTE (RESULFURIZADO)	11
TABLA 2B – COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO (REFOSFORIZADO Y RESULFURIZADO) CORTADO LIBREMENTE	12
TABLA 3A – COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO ALTAS EN MANGANESO	13
TABLA 3B – COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO ALTAS EN MANGANESO	14
TABLA 4 – LÍMITES Y RANGOS DE FUNDICIÓN Y CALENTAMIENTO QUÍMICO DE ACERO AL CARBONO	15
TABLA 5 – LÍMITES Y RANGOS DE FUNDICIÓN Y CALENTAMIENTO QUÍMICO DE ACERO AL CARBONO	17
TABLA 1A – COMPOSICIONES DE ALEACIONES BAJAS EN ACERO APLICABLES A TOCHOS (BILLET), BLOOMS, LOZA (SLAB) Y BARRAS TERMINADAS EN CALIENTE Y FRÍO	19
TABLA 1B – RANGOS DE COMPOSICIÓN Y LÍMITES DE ACUERDO AL ESTÁNDAR AISI – SAE PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES DE ALEACIONES BAJAS EN PLACA DE ACERO	210
LÍMITES DE COMPOSICIÓN QUÍMICA, %	232
FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL ACERO EN CANTIDADES NORMALMENTE UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ALEACIONES DE ACERO	Error! Bookmark not defined.5

Capítulo 2 –Metalúrgica Del Aluminio 276

INTRODUCCIÓN AL ALUMINIO	Error! Bookmark not defined.6
EFECTO DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN ALEACIONES	Error! Bookmark not defined.8

Capítulo 3 – Atmósferas Protectoras 310

GUÍA PARA RECOMENDAR EL USO DE GENERADORES DE ATMÓSFERA SECO/WARWICK **Error! Bookmark not defined.**0
PUNTO DE ROCÍO VERSUS CONTENIDO DE CARBONO **Error! Bookmark not defined.**2
PUNTO DE ROCÍO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS GASES **Error! Bookmark not defined.**3
RELACIONES DE AIRE- GAS ATMOSFÉRICO **Error! Bookmark not defined.**4
 Atmósfera Exotérmica de gas natural 354
 (90% CH₄, C₂ H₆, 5% N₂) 35
RELACIONES DE AIRE-GAS ATMOSFÉRICO **Error! Bookmark not defined.**5
 Atmósfera Endotérmica de gas natural 365
 (90% CH₄, C₂ H₆, 5% N₂) 36

Capítulo 4 - Tratamientos Térmicos Típicos de Acero de acuerdo a la S.A.E. 376

TABLA 1 – CASOS DE GRADOS DE TEMPLADO DE ACERO DE CARBONO 376
TABLA 2 – GRADOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE ACERO DE CARBONO 398
GRÁFICA DE DUREZAS **Error! Bookmark not defined.**0
TABLA 3 – GRADOS DE CARBURIZACIÓN DE ALEACIONES DE ACEROS 421
TABLA 4 – GRADOS DE ENDURECIMIENTO DIRECTO DE ALEACIONES DE ACERO 443
CONTENIDO MEDIO DE CARBONO EN BASE A ESPECIFICACIÓN S.A.E., % **Error! Bookmark not defined.**5
TABLA 5 – GRADOS DE CROMO – NÍQUEL EN ACEROS AUSTENÍTICOS NO ENDURECIDOS BAJO TRATAMIENTO TÉRMICO 465
TABLA 6 – ACEROS NO OXIDABLES CON CROMO 476
TABLA 7 – ACEROS NO OXIDABLES FORJADOS DE MAQUINABILIDAD ESPECIAL 487
TEMPERATURAS DE NORMALIZADO Y RECOCIDO DE ACEROS PARA HERRAMIENTAS **Error! Bookmark not defined.**8
TRATAMIENTO TÉRMICO DE ACEROS PARA HERRAMIENTAS **Error! Bookmark not defined.**0
DUREZA VERSUS TEMPERATURA DE REVENIDO **Error! Bookmark not defined.**4
TIEMPOS Y TEMPERATURAS DE CARBURIZADO **Error! Bookmark not defined.**5
GRÁFICOS DE CARBONITRURADOS **Error! Bookmark not defined.**6
DUREZA VERSUS CONTENIDO DE CARBONO **Error! Bookmark not defined.**7

Capítulo 5 – Tratamientos Térmicos al Vacío 598

INTRODUCCIÓN **Error! Bookmark not defined.**8
TECNOLOGÍA DE TEMPLADO POR GAS 59
 Aplicaciones de Hornos para 6, 10 y 20 atmósferas 60

TABLA I – DUREZA DE VARIAS ALEACIONES DE ACERO EN HORNOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE TEMPLADO AL VACÍO PARA 6, 10 Y 20 ATMÓSFERAS **Error! Bookmark not defined.**
CONVECCIÓN DE CALOR **Error! Bookmark not defined.**
CONVECCIÓN VERSUS RELACIONES TRADICIONALES DE CALOR **Error! Bookmark not defined.**
Templado Isotérmico – Martemplado 66
CARBUZIRADO LPC (BAJA PRESIÓN) AL VACÍO **Error! Bookmark not defined.**
DESARROLLO DEL PROCESO DE CARBURIZADO, PRE-NITRURADO AL VACÍO EN BAJA PRESIÓN **Error! Bookmark not defined.**

Capítulo 6 – Tablas de Conversión de Dureza **Error! Bookmark not defined.**

ESCALA ROCKWELL – ACEROS ENDURECIDOS Y ALEACIONES DURAS **Error! Bookmark not defined.**
ESCALA ROCKWELL – ACEROS SUAVES, HIERRO GRIS Y HIERRO FUNDIDO MALEABLE Y LA MAYORÍA DE METALES NO FERROSOS **Error! Bookmark not defined.**

Capítulo 7 – Datos Misceláneos **Error! Bookmark not defined.**

COLORES DE LOS CALORES DE ENDURECIMIENTO Y REVENIDO **Error! Bookmark not defined.**
PESOS Y PUNTOS DE FUSIÓN **Error! Bookmark not defined.**
TOLERANCIAS DE TIEMPOS DE CALENTAMIENTO PARA ENDURECIMIENTO **Error! Bookmark not defined.**
TABLA DE TIEMPOS APROXIMADOS DE CALENTAMIENTO PARA REVENIDO 87
CONTENIDO DE CALOR DE LOS METALES A DIVERSAS TEMPERATURAS **Error! Bookmark not defined.**
COMPOSICIÓN DE DUREZA **Error! Bookmark not defined.**
GRÁFICAS DE RELACIONES DE ENFRIAMIENTO **Error! Bookmark not defined.**
CÁLCULOS DE ENDURECIMIENTO DE TEMPLADO FINAL BASADOS EN ANÁLISIS **Error! Bookmark not defined.**
FACTORES MULTIPLICADORES PARA EL CARBONO DE ACUERDO AL TAMAÑO DEL GRANO **Error! Bookmark not defined.**
FACTORES MULTIPLICADORES PARA ELEMENTOS DE ALEACIONES **Error! Bookmark not defined.**
RELACIÓN ENTRE H_{DI} Y FACTORES DE DIVISIÓN PARA VARIAS DISTANCIAS DE TEMPLADO EXTREMO **Error! Bookmark not defined.**
COMPOSICIÓN DE DUREZA 96
NOTAS DE TEMPLADO 98
ESCALAS DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURAS EN °F Y °C **Error! Bookmark not defined.**

FACTORES DE CONVERSIÓN DE PRESIÓN **Error! Bookmark not defined.**
FACTORES DE CONVERSIÓN Y PESO **Error! Bookmark not defined.**
PÉRDIDA DE CALOR/CALCULADORA DE AISLAMIENTO **Error! Bookmark not defined.**
ECUACIÓN DE FLUJO DE COMBUSTIÓN **Error! Bookmark not defined.**5
CONVERSIÓN DEL SISTEMA INGLÉS AL MÉTRICO **Error! Bookmark not defined.**7

Referencia 114

Capítulo 1 – Datos del Acero

ESPECIFICACIONES DEL ACERO A.I.S.I. - S.A.E.

SISTEMA DE NUMERACIÓN BÁSICA PARA ACEROS SAE

Numerales & Dígitos	Tipo de Acero y Contenido de Aleación Nominal , %
	ACEROS AL CARBONO
10xx(a)	Sólo Carbono (Mn 1.00% max)
11xx	Resulfurizado
12xx	Resulfurizado & Refosforizado
15xx	Sólo Carbono (Mn rango máx-arriba de 1.00-1.65)
	ACEROS AL MANGANESO
13xx	Mn 1.75
	ACEROS AL NÍQUEL
23xx	Ni 3.50
25xx	Ni 5.00
	ACERO AL NÍQUEL - CROMO
31xx	Ni 1.25;Cr 0.65 and 0.80
32xx	Ni 1.75;Cr 1.07
33xx	Ni 3.50;Cr 1.50 and 1.57
34xx	Ni 3.00;Cr 0.77
	ACEROS AL MOLIBDENO
40xx	Mo 0.20 and 0.25
44xx	Mo 0.40 and 0.52
	ACEROS AL MOLIBDENO - CROMO
41xx	Cr 0.50, 0.80 and 0.95;Mo 0.12, 0.20, 0.25 and 0.30
	ACEROS AL NÍQUEL – CROMO – MOLIBDENO
43xx	Ni 1.82; Cr 0.50 and 0.80; Mo 0.25
43BVxx	Ni 1.82; Cr 0.50; Mo 0.12 and 0.25;V 0.03 minimum
47xx	Ni 1.05; Cr 0.45; Mo 0.20 and 0.35
81xx	Ni 0.30; Cr 0.40; Mo 0.12
86xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.20
87xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.25
88xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.35
93xx	Ni 3.25; Cr 1.20; Mo 0.12

94xx	Ni 0.45; Cr 0.40; Mo 0.12
97xx	Ni 0.55; Cr 0.20; Mo 0.20
98xx	Ni 1.00; Cr 0.80; Mo 0.25
	ACEROS AL NÍQUEL – MOLIBDENO
46xx	Ni 0.85 and 1.82; Mo 0.20 and 0.25
48xx	Ni 3.50; Mo 0.25
	ACEROS AL CROMO
50xx	Cr 0.27, 0.40, 0.50 and 0.65
51xx	Cr 0.80; 0.87, 0.92, 0.95, 1.00 and 1.05
	ACEROS AL CROMO (baleros)
501xx	Cr 0.50
511xx	Cr 1.02
521xx	Cr 1.45
	ACEROS AL CROMO – VANADIO
61xx	Cr 0.60,0.80 and 0.95; V 0.10 & 0.15 minimum
	ACEROS AL TUNGSTENO - CROMO
72xx	W 1.75; Cr 0.75
	ACEROS AL SILICIO MANGANESO
92xx	Si 1.40 and 2.00; Mn 0.65, 0.82 and 0.85; Cr 0 and 0.65
	ALEACIONES DE ACERO DE ALTA – BAJA FORTALEZA
9xx	Varios grados SAE
	ACEROS AL BORO
xxBxx	B indica Aceros al Boro
	ACEROS CON PLOMO
xxLxx	L indica Aceros con Plomo

(a) Las xx en los dos últimos dígitos de estas designaciones indican que el contenido de carbono (en centésimas de porcentaje) debe ser insertado.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 148, tabla 11.
<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 1A - COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO APLICABLES A PRODUCTOS SEMI-TERMINADOS PARA FORJA, TERMINADO DE BARRAS LAMINADAS EN FRÍO O CALIENTE, VARILLAS DE ALAMBRE Y TUBOS SIN SOLDADURA

UNS #	SAE #	Rangos y límites químicos de calor o fundición, % (a)			
		C	Mn	P, max	S, max
G10050	1005	0.06 max	0.35 max	0.040	0.050
G10060	1006	0.08 max	0.25-0.40	0.040	0.050
G10080	1008	0.10 max	0.30-0.50	0.040	0.050
G10100	1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.040	0.050
G10120	1012	0.10-0.15	0.30-0.60	0.040	0.050
G10130	1013	0.11-0.16	0.50-0.80	0.040	0.050
G10150	1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.040	0.050
G10160	1016	0.13-0.18	0.60-0.90	0.040	0.050
G10170	1017	0.15-0.20	0.30-0.60	0.040	0.050
G10180	1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050
G10190	1019	0.15-0.20	0.70-1.00	0.040	0.050
G10200	1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.040	0.050
G10210	1021	0.18-0.23	0.60-0.90	0.040	0.050
G10220	1022	0.18-0.23	0.70-1.00	0.040	0.050
G10230	1023	0.20-0.25	0.30-0.60	0.040	0.050
G10250	1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.040	0.050
G10260	1026	0.22-0.28	0.60-0.90	0.040	0.050
G10290	1029	0.25-0.31	0.60-1.90	0.040	0.050
G10300	1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.040	0.050
G10350	1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.040	0.050
G10370	1037	0.32-0.38	0.70-1.00	0.040	0.050
G10380	1038	0.35-0.42	0.60-0.90	0.040	0.050
G10390	1039	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040	0.050
G10400	1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.040	0.050
G10420	1042	0.40-0.47	0.60-0.90	0.040	0.050
G10430	1043	0.40-0.47	0.70-1.00	0.040	0.050
G10440	1044	0.43-0.50	0.30-0.60	0.040	0.050
G10450	1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.040	0.050
G10460	1046	0.43-0.50	0.70-1.00	0.040	0.050
G10490	1049	0.46-0.53	0.60-0.90	0.040	0.050
G10500	1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.040	0.050

G10530	1053	0.48-0.55	0.70-1.00	0.040	0.050
G10550	1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.040	0.050
G10590	1059	0.55-0.65	0.50-0.80	0.040	0.050
G10600	1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.040	0.050
G10640	1064	0.60-0.70	0.50-0.80	0.040	0.050
G10650	1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.040	0.050
G10690	1069	0.65-0.75	0.40-0.70	0.040	0.050
G10700	1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.040	0.050
G10740	1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.040	0.050
G10750	1075	0.70-0.80	0.40-0.70	0.040	0.050
G10780	1078	0.72-0.85	0.30-0.60	0.040	0.050
G10800	1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.040	0.050
G10840	1084	0.80-0.93	0.60-0.90	0.040	0.050
G10850	1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.040	0.050
G10860	1086	0.80-0.93	0.30-0.50	0.040	0.050
G10900	1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.040	0.050
G10950	1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.040	0.050

(a) Sí se requieren rangos o límites de silicio para barras y productos semi-terminados, se aplican los valores en la tabla 4. Para barras, se usan comúnmente los siguientes rangos: 0.10 max; 0.07-0.15%; 0.10-0.20%; 0.15-0.35%; 0.20-0.40%; and 0.30-0.60%. Los aceros enlistados en esta tabla pueden producirse con adiciones de plomo o de boro. Los aceros con plomo contienen típicamente 0.15-0.35% Pb y se identifican al insertar la letra L en la designación (10L45); en cuanto a los aceros con boro se puede esperar que contengan 0.0005-0.003% B y se identifican al insertar la letra B en la designación (10B46).

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 149, tabla 12.
<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 1B – COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO APLICABLES SÓLO ESTRUCTURALMENTE A FORMAS, PLACAS, TIRAS, HOJAS Y SOLDUARA DE TUBOS

UNS #	SAE -	Rangos o límites químicos de fundición o calor, % (a)			
	AISI #	C	Mn	P, max	S, max
G10060	1006	0.80 max	0.45 max	0.040	0.050
G10080	1008	0.10 max	0.50 max	0.040	0.050
G10090	1009	0.15 max	0.60 max	0.040	0.050
G10100	1010	0.80-0.13	0.30-0.60	0.040	0.050
G10120	1012	0.10-0.15	0.30-0.60	0.040	0.050
G10150	1015	0.12-0.18	0.30-0.60	0.040	0.050
G10160	1016	0.12-0.18	0.60-0.90	0.040	0.050
G10170	1017	0.14-0.20	0.30-0.60	0.040	0.050
G10180	1018	0.14-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050
G10190	1019	0.14-0.20	0.70-1.00	0.040	0.050
G10200	1020	0.17-0.23	0.30-0.60	0.040	0.050
G10210	1021	0.17-0.23	0.60-0.90	0.040	0.050
G10220	1022	0.17-0.23	0.70-1.00	0.040	0.050
G10230	1023	0.19-0.25	0.30-0.60	0.040	0.050
G10250	1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.040	0.050
G10260	1026	0.22-0.28	0.60-0.90	0.040	0.050
G10300	1030	0.27-0.34	0.60-0.90	0.040	0.050
G10330	1033	0.29-0.36	0.70-1.00	0.040	0.050
G10350	1035	0.31-0.38	0.60-0.90	0.040	0.050
G10370	1037	0.31-0.38	0.70-1.00	0.040	0.050
G10380	1038	0.34-0.42	0.60-0.90	0.040	0.050
G10390	1039	0.36-0.44	0.70-1.00	0.040	0.050
G10400	1040	0.36-0.44	0.60-0.90	0.040	0.050
G10420	1042	0.39-0.47	0.60-0.90	0.040	0.050

G10430	1043	0.39-0.47	0.70-1.00	0.040	0.050
G10450	1045	0.42-0.50	0.60-0.90	0.040	0.050
G10460	1046	0.42-0.50	0.70-1.00	0.040	0.050
G10490	1049	0.45-0.53	0.60-0.90	0.040	0.050
G10500	1050	0.47-0.55	0.60-0.90	0.040	0.050
G10550	1055	0.52-0.60	0.60-0.90	0.040	0.050
G10600	1060	0.55-0.66	0.60-0.90	0.040	0.050
G10640	1064	0.59-0.70	0.50-0.80	0.040	0.050
G10650	1065	0.59-0.70	0.60-0.90	0.040	0.050
G10700	1070	0.65-0.76	0.60-0.90	0.040	0.050
G10740	1074	0.69-0.80	0.50-0.80	0.040	0.050
G10750	1075	0.69-0.80	0.40-0.70	0.040	0.050
G10780	1078	0.72-0.86	0.30-0.60	0.040	0.050
G10800	1080	0.74-0.88	0.60-0.90	0.040	0.050
G10840	1084	0.80-0.94	0.60-0.90	0.040	0.050
G10850	1085	0.80-0.94	0.70-1.00	0.040	0.050
G10860	1086	0.80-0.94	0.30-0.50	0.040	0.050
G10900	1090	0.84-0.98	0.60-0.90	0.040	0.050
G10950	1095	0.90-1.04	0.30-0.50	0.040	0.050

(a) Sí se requieren rangos o límites de silicio, los siguientes rangos y límites son los que se usan comúnmente: hasta SAE inclusive 1025 , 0.10% max, 0.10-0.25%, o 0.15-0.35%. Arriba de SAE 1025, o 0.15-0.35%.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 150, tabla 13.
<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 2A - COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO CORTADO LIBREMENTE (RESULFURIZADO)

Aplicable a productos semi terminados para forjado, rolado en caliente y en frío, así como barras roladas en caliente y frío, barras de alambre y tubos sin costura.

UNS #	SAE - AISI #	Rangos y límites químicos de fundición o calor, % (a)			
		C	Mn	P	S
G11080	1108	0.08-0.13	0.50-0.80	0.040	0.80-0.13
G11100	1110	0.08-0.13	0.30-0.60	0.040	0.08-0.13
G11170	1117	0.14-0.20	1.00-1.30	0.040	0.08-0.13
G11180	1118	0.14-0.20	1.30-1.60	0.040	0.08-0.13
G11370	1137	0.32-0.39	1.35-1.65	0.040	0.08-0.13
G11390	1139	0.35-0.43	1.35-1.65	0.040	0.13-0.20
G11400	1140	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
G11410	1141	0.37-0.45	1.35-1.65	0.040	0.08-0.13
G11440	1144	0.40-0.48	1.35-1.65	0.040	0.24-0.33
G11460	1146	0.42-0.49	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13
G11510	1151	0.48-0.55	0.70-1.00	0.040	0.08-0.13

(a) Cuando se requieren rangos o límites de plomo, o cuando los rangos o límites de silicio son requeridos para barras o productos semi-terminados, los valores en la tabla 4 aplican. Para rodillos, los siguientes límites para silicio son comúnmente aplicados: hasta SAE inclusive 1110, 0.10% max; SAE 1117 y sobre, 0.10% max, 0.10-0.20% o 0.15-0.35%.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 150, tabla 15.

<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 2B - COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO (REFOSFORIZADO Y RESULTURIZADO) CORTADO LIBREMENTE

Aplicable a productos semi-terminados para forjado, barras roladas en caliente y frío, barras de alambre y tubos sin costura.

UNS #	SAE - AISI #	Rangos o límites químicos de fundición o calor, % (a)				
		C max	Mn	P	S	Pb
G12110	1211	0.13	0.60-0.90	0.07-0.12	0.10-0.15	-
G12120	1212	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23	
G1230	1213	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	-
G12150	1215	0.09	0.75-1.05	0.04-0.09	0.26-0.35	-
G12144	12L14b	0.15	0.85-1.15	0.04-0.09	0.26-0.35	0.15-0.35

(a) Cuando son requeridos rangos o límites de plomo, los valores en la tabla 4 aplican. No es una práctica común producir las series 12xx de aceros para límites específicos de silicio debido a sus efectos adversos en su mecanizado.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 151, tabla 16.

<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 3A - COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO ALTAS EN MANGANESO

Aplicable sólo a productos semi terminados para forjado, rolado en caliente y en frío, así como barras roladas en caliente y frío, barras de alambre y tubos sin costura.

UNS #	SAE - AISI #	Rangos o límites químicos de fundición o calor, % ^a			
		C	Mn	P, max	S, max
G15130	1513	0.10-0.16	1.10-1.40	0.040	0.050
G15220	1522	0.18-0.24	1.10-1.40	0.040	0.050
G15240	1524	0.19-0.25	1.35-1.65	0.040	0.050
G15260	1526	0.22-0.29	1.10-1.40	0.040	0.050
G15270	1527	0.22-0.29	1.20-1.50	0.040	0.050
G15360	1536	0.30-0.37	1.20-1.50	0.040	0.050
G15410	1541	0.36-0.44	1.35-1.65	0.040	0.050
G15480	1548	0.44-0.52	1.10-1.40	0.040	0.050
G15510	1551	0.45-0.56	0.85-1.15	0.040	0.050
G15520	1552	0.47-0.55	1.20-1.50	0.040	0.050
G15610	1561	0.55-0.65	0.75-1.05	0.040	0.050
G15660	1566	0.60-0.71	0.85-1.15	0.040	0.050

(a) Cuando se requieren rangos o límites de silicio, plomo y boro, se aplican los valores de las tablas 4 y 5.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 151, tabla 17.
<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 3B - COMPOSICIONES DEL ACERO DE CARBONO ALTAS EN MANGANESO

Aplicable sólo a formas estructurales, placas, tiras, hoja y tubos soldados.

UNS #	SAE - AISI #	Rangos o límites químicos de fundición o calor, % ^a				Previo
		C	Mn	P, max	S, max	SAE #
G15240	1524	0.18-0.25	1.30-1.65	0.040	0.050	1024
G15270	1527	0.22-0.29	1.20-1.55	0.040	0.050	1027
G15360	1536	0.30-0.28	1.20-1.55	0.040	0.050	1036
G15410	1541	0.36-0.45	1.30-1.65	0.040	0.050	1041
G15480	1548	0.43-0.52	1.05-1.40	0.040	0.050	1048
G15520	1552	0.46-0.55	1.20-1.55	0.040	0.050	1052

(a) Cuando se requieren rangos o límites de silicio, los valores de la tabla 5 aplican.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 151, tabla 18.
<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 4 - LÍMITES Y RANGOS DE FUNDICIÓN Y CALENTAMIENTO QUÍMICO DE ACERO AL CARBONO

Aplicable sólo a productos semi terminados para forjado, rolado en caliente y en frío, así como barras roladas en caliente y frío, barras de alambre y tubos sin costura.

Elemento	Máximo del elemento especificado, %	Rango, %
Carbono (a)	Hasta 0.12	-
	Sobre 0.12 a 0.25 incl.	0.05
	Sobre 0.25 a 0.40 incl.	0.06
	Sobre 0.40 a 0.55 incl.	0.07
	Sobre 0.55 a 0.80 incl.	0.10
	Sobre 0.80	0.13
Manganeso	A 0.40	0.15
	Sobre 0.40 a 0.50 incl.	0.20
	Sobre 0.50 a 1.65 incl.	0.30
Fósforo	Sobre 0.040-0.08 incl.	0.03
	Sobre 0.08 a 0.13 incl.	0.05
Azufre	Sobre 0.050 a 0.09 incl.	0.03
	Sobre 0.09 a 0.15 incl.	0.05
	Sobre 0.15 a 0.23 incl.	0.07
	Sobre 0.23 a 0.35 incl.	0.09
Silicio (para barras) (b) (c)	A 0.15	0.08
	Sobre 0.15 a 0.20 incl.	0.10
	Sobre 0.20 a 0.30 incl.	0.15
	Sobre 0.30 a 0.60 incl.	0.20
<i>Cobre</i> Si se requiere cobre, se usa generalmente un mínimo de 0.20%.		
<i>Plomo (d)</i> Si se requiere plomo, se utiliza generalmente un		

rango de 0.15 a 0.35.

Nota: Los aceros tratados con grano fino de Boro se producen en un rango de 0.005-0.003% B., inclusivo.

- (a) Los rangos de carbono mostrados regularmente aplican cuando el límite máximo especificado para el manganeso no se excede del 1.10%. Cuando el límite máximo del manganeso se excede del 1.10%, se acostumbra añadir 0.01 al rango de carbono mostrado.
- (b) No es una práctica común producir un acero al carbón re-fosforizado y re-sulforizado para límites específicos de silicio debido a sus efectos adversos en su mecanizado.
- (c) Cuando se requiere silicio para las barras, se usan comúnmente los siguientes rangos y límites: 0.10 max; 0.07-0.15, 0.10-0.20, 0.15-0.35, 0.20-0.40, o 0.30-0.60. (d) El plomo se reporta sólo como un rango de 0.15-0.35% porque se añade generalmente al molde o corriente del horno conforme se vacía el acero.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 141, tabla 1.

<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 5 - LÍMITES Y RANGOS DE FUNDICIÓN Y CALENTAMIENTO QUÍMICO DE ACERO AL CARBONO

Aplicable sólo a formas estructurales, placas, tiras, hojas, y tubos soldados.

Elemento	Máximo del elemento especificado, %	Rango %
Carbono (a)(b)	A 0.15 incl.	0.05
	Sobre 0.15 a 0.30 incl.	0.06
	Sobre 0.30 a 0.40 incl.	0.07
	Sobre 0.40 a 0.60 incl.	0.08
	Sobre 0.60 a 0.80 incl.	0.11
	Sobre 0.80 a 1.35 incl.	0.14
Manganeso	A 0.50 incl.	0.20
	Sobre 0.050 a 1.15 incl.	0.30
	Sobre 1.15 a 1.65 incl.	0.35
Fósforo	A 0.08 incl.	0.03
	Sobre 0.08 a 0.15 incl.	0.05
Azufre	A 0.08 incl.	0.03
	Sobre 0.08 a 0.15 incl.	0.05
	Sobre 0.15 a 0.23 incl.	0.07
	Sobre 0.23 a 0.33	0.10
Silicio	A 0.15 incl.	0.08
	Sobre 0.15 a 0.30 incl.	0.15
	Sobre 0.30 a 0.60 incl.	0.30
Cobre	<i>Cobre</i> Sí se requiere cobre, se usa generalmente un mínimo de 0.20%.	

(a) Los rangos de carbono mostrados en la columna nombrada "Rangos" se aplican cuando el límite máximo especificado para el manganeso no excede 1.00%. Cuando el límite máximo de manganeso excede el 1.00%, añade 0.01 a los rangos de carbonos mostrados en la tabla.

(b) 0.12 es el máximo de carbono para formas estructurales y placas.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 141, tabla 2.

<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 1A - COMPOSICIONES DE ALEACIONES BAJAS EN ACERO APLICABLES A TOCHOS (BILLET), BLOOMS, LOZA (SLAB) Y BARRAS TERMINADAS EN CALIENTE Y FRÍO

Rangos ligeramente más amplios de compuestos se aplican a placas.

Límites Químicos de Composición del Cucharón (distribución), %											
UNS #	SAE #	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Correspondiente AISI #
G13300	1330	0.28-0.33	1.60-1.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	-	-	1330
G13350	1335	0.33-0.38	1.60-1.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	-	-	1335
G13400	1340	0.38-0.43	1.60-1.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	-	-	1340
G13450	1345	0.43-0.48	1.60-1.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	-	-	1345
G40230	4023	0.20-0.25	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	-	-	4023
G40240	4024	0.20-0.25	0.70-0.90	0.035	0.035-0.050	0.15-0.35	-	-	0.20-0.30	-	4024
G40270	4027	0.25-0.30	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	0.20-0.30	-	4027
G40280	4028	0.25-0.30	0.70-0.90	0.035	0.035-0.050	0.15-0.35	-	-	0.20-0.30	-	4028
G40320	4032	0.30-0.35	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	0.20-0.30	-	-
G40370	4037	0.35-0.40	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	0.20-0.30	-	4037
G40420	4042	0.40-0.45	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	0.20-0.30	-	-
G40470	4047	0.45-0.50	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	0.20-0.30	-	4047
G41180	4118	0.18-0.23	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.40-0.60	0.08-0.15	-	4118
G41300	4130	0.28-0.33	0.40-0.60	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	0.15-0.25	-	4130
G41350	4135	0.33-0.38	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	0.15-0.25	-	-
G41370	4137	0.35-0.40	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	0.15-0.25	-	4137
G41400	4140	0.38-0.43	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	0.15-0.25	-	4140
G41420	4142	0.40-0.45	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	0.15-0.25	-	4142
G41450	4145	0.41-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	0.15-0.25	-	4145
G41470	4147	0.45-0.50	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	0.15-0.25	-	4147
G41500	4150	0.48-0.53	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	0.15-0.25	-	4150
G41610	4161	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.70-0.90	0.25-0.35	-	4161
G43200	4320	0.17-0.22	0.45-0.65	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	-	4320
G43400	4340	0.38-0.43	0.60-0.80	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	-	4340
G43406	E4340b	0.38-0.43	0.65-0.85	0.025	0.025	0.15-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	-	E4340
G44220	4422	0.20-0.25	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	0.35-0.45	-	-
G44270	4427	0.24-0.29	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	-	0.35-0.45	-	-
G46150	4615	0.13-0.18	0.45-0.65	0.035	0.040	0.15-0.25	1.65-2.00	-	0.20-0.30	-	4615
G46170	4617	0.15-0.20	0.45-0.65	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	-	0.20-0.30	-	-
G46200	4620	0.17-0.22	0.45-0.65	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	-	0.20-0.30	-	4620
G46260	4626	0.24-0.29	0.45-0.65	0.035	0.04 max	0.15-0.35	0.70-1.00	-	0.15-0.25	-	-
G47180	4718	0.16-0.21	0.70-0.90	-	-	-	0.90-1.20	0.35-0.55	0.30-0.40	-	4718
G47200	4720	0.17-0.22	0.50-0.70	0.035	0.040	0.15-0.35	0.90-1.20	0.35-0.55	0.15-0.25	-	4720
G48150	4815	0.13-0.18	0.40-0.60	0.035	0.040	0.15-0.35	3.25-3.75	-	0.20-0.30	-	4815
G48170	4817	0.15-0.20	0.40-0.60	0.035	0.040	0.15-0.35	3.25-3.75	-	0.20-0.30	-	4817
G48200	4820	0.18-0.23	0.50-0.70	0.035	0.040	0.15-0.35	3.25-3.75	-	0.20-0.30	-	4820
G50401	50B40c	0.38-0.43	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.40-0.60	-	-	-
G50441	50B44c	0.43-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.40-0.60	-	-	50B44
G50460	5046	0.43-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.20-0.35	-	-	-
G50461	50B46c	0.44-0.49	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.20-0.35	-	-	50B46
G50501	50B50c	0.48-0.53	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.40-0.60	-	-	50B50
G50600	5060	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.40-0.60	-	-	-
G50601	50B60c	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.40-0.60	-	-	50B60
G51150	5115	0.13-0.18	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.70-0.90	-	-	-
G51170	5117	0.15-0.20	0.70-0.90	0.04	0.040	0.15-0.35	-	0.70.90	-	-	5117

G51200	5120	0.17-0.22	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.70-0.90	-	-	5120
G51300	5130	0.28-0.33	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	-	-	5130
G51320	5132	0.30-0.35	0.60-0.80	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.75-1.00	-	-	5132
G51350	5135	0.33-0.38	0.60-0.80	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.05	-	-	5135
G51400	5140	0.38-0.43	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.70-0.90	-	-	5140
G51470	5147	0.46-0.51	0.70-0.95	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.85-1.15	-	-	5147
G51500	5150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.70-0.90	-	-	5150
G51550	5155	0.51-0.59	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.70-0.90	-	-	5155
G51600	5160	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.70-0.90	-	-	5160
G51601	51B60c	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.70-0.90	-	-	51B60
G50986	50100b	0.98-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.15-0.35	-	0.40-0.60	-	-	-
G51986	51100b	0.98-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.15-0.35	-	0.90-1.15	-	-	E51100
G52986	52100b	0.98-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.15-0.35	-	1.30-1.60	-	-	E52100
G61180	6118	0.16-0.21	0.50-0.70	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.50-0.70	-	0.10-0.15	6118
G61500	6150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	-	0.80-1.10	-	0.15 min	6150
G81150	8115	0.13-0.18	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.20-0.40	0.30-0.50	0.08-0.15	-	8115
G81451	81B45c	0.43-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.20-0.40	0.35-0.55	0.08-0.15	-	81B45
G86150	8615	0.13-0.18	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8615
G86170	8617	0.15-0.20	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8617
G86200	8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8620
G86220	8622	0.20-0.25	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8622
G86250	8625	0.23-0.28	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8625
G86270	8627	0.25-0.30	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8627
G86300	8630	0.28-0.33	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8630
G86370	8637	0.35-0.40	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8637
G86400	8640	0.38-0.43	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8640
G86420	8642	0.40-0.45	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8642
G86450	8645	0.43-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8645
G86451	86B45c	0.43-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	-
G86500	8650	0.48-0.53	0.75-1.00	0.035	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	-
G86550	8655	0.51-0.59	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	8655
G86600	8660	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	-	-
G87200	8720	0.18-0.23	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	-	8720
G87400	8740	0.38-0.43	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	-	8740
G88220	8822	0.20-0.25	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.30-0.40	-	8822
G92540	9254	0.51-0.59	0.60-0.80	0.035	0.040	1.20-1.60	-	0.60-0.80	-	-	-
G92600	9260	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	1.80-2.20	-	-	-	-	9260
G93106	9310b	0.08-0.13	0.45-0.65	0.025	0.025	0.15-0.35	3.00-3.50	1.00-1.40	0.08-0.15	-	-
G94151	94B15c	0.13-0.18	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.08-0.15	-	-
G94171	94B17c	0.15-0.20	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.08-0.15	-	94B17
G94301	94B30c	0.28-0.33	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.08-0.15	-	94B30

(a) Pequeñas cantidades de ciertos elementos que no están especificados o requeridos pueden encontrarse en aleaciones de acero. Estos elementos son considerados como incidentales y son aceptables para las siguientes cantidades máximas de cobre a 0.35%, níquel a 0.25%, cromo a 0.20%, y molibdeno a 0.06%.

(b) Horno eléctrico para acero.

(c) El contenido de Boro es 0.0005-0.003%.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 152-153, tabla 19.

<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TABLA 1B - RANGOS DE COMPOSICIÓN Y LÍMITES DE ACUERDO AL ESTÁNDAR AISI – SAE PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES DE ALEACIONES BAJAS EN PLACA DE ACERO

Se puede añadir Boro o Plomo a estas composiciones. Se pueden encontrar pequeñas cantidades de ciertos elementos no requeridos. Estos elementos deben considerarse incidentales y son aceptables en las siguientes cantidades máximas: Cobre a 0.35%, Níquel a 0.25%, Cromo a 0.20%, y Molibdeno a 0.06%.

Rangos y Límites de Composición de Calor, % (a)							
SAE #	Designación						
	UNS	C	Mn	Si (b)	Ni	Cr	Mo
1330	G13300	0.27-0.34	1.50-1.90	0.15-0.30	-	-	-
1335	G13350	0.32-0.39	1.50-1.90	0.15-0.30	-	-	-
1340	G13400	0.36-0.44	1.50-1.90	0.15-0.30	-	-	-
1345	G13450	0.41-0.49	1.50-1.90	0.15-0.30	-	-	-
4118	G41180	0.17-0.23	0.60-0.90	0.15-0.30	-	0.40-0.65	0.08-0.15
4130	G41300	0.27-0.34	0.35-0.60	0.15-0.30	-	0.80-1.15	0.15-0.25
4135	G41350	0.32-0.39	0.65-0.95	0.15-0.30	-	0.08-1.15	0.15-0.25
4137	G41370	0.33-0.40	0.65-0.95	0.15-0.30	-	0.80-1.15	0.15-0.25
4140	G41400	0.36-0.44	0.70-1.00	0.15-0.30	-	0.08-1.15	0.15-0.25
4142	G41420	0.38-0.46	0.70-1.00	0.15-0.30	-	0.80-1.15	0.15-0.25
4145	G41450	0.41-0.49	0.70-1.00	0.15-0.30	-	0.80-1.15	0.15-0.25
4340	G43400	0.36-0.44	0.55-0.80	0.15-0.30	1.65-2.00	0.60-0.90	0.20-0.30
E4340	G43406	0.37-0.44	0.60-0.85	0.15-0.30	1.65-2.00	0.65-0.90	0.20-0.30
4615	G46150	0.12-0.18	0.40-0.65	0.15-0.30	1.65-2.00	-	0.20-0.30
4617	G46170	0.15-0.21	0.40-0.65	0.15-0.30	1.65-2.00	-	0.20-0.30
4620	G46200	0.16-0.22	0.40-0.65	0.15-0.30	1.65-2.00	-	0.20-0.30
5160	G51600	0.54-0.65	0.70-1.00	0.15-0.30	-	0.60-0.90	-
6150	G61500	0.46-0.54	0.60-0.90	0.15-0.30	-	0.80-1.15	-
8615	G86150	0.12-0.18	0.60-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8617	G86170	0.15-0.21	0.60-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8620	G86200	0.17-0.23	0.60-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8622	G86220	0.19-0.25	0.60-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8625	G86250	0.22-0.29	0.60-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8627	G86270	0.24-0.31	0.60-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8630	G86300	0.27-0.34	0.60-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8637	G86370	0.33-0.40	0.70-1.00	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8640	G86400	0.36-0.44	0.70-1.00	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8655	G86550	0.49-0.60	0.70-1.00	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.15-0.25
8742	G87420	0.38-0.46	0.70-1.00	0.15-0.30	0.40-0.70	0.35-0.60	0.20-0.30

(a) Los rangos indicados y límites se aplican a aceros hechos por el proceso de horno abierto o por oxígeno básico; el contenido máximo de fósforo es de 0.035% y contenido de azufre de 0.040%. Para aceros hechos por el proceso de hornos eléctricos, los rangos y límites son reducidos como sigue: C - 0.01%; Mn - 0.05%; Cr - 0.05% (<1.25%), 0.10% (>1.25%); el contenido máximo ya sea para fósforo o azufre es de 0.025%.

(b) Se pueden negociar otros rangos de silicio. El silicio está disponible en rangos de 0.10-0.20%, 0.20-0.30%, y 0.35% máximo (sí el carbono está deoxidizado) al especificarlo así el comprador.

(c) El Prefijo "E" indica que los aceros están fabricados por el proceso de horno eléctrico.

(d) Contiene 0.15% V mínimo

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 227, tabla 3.

<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

LÍMITES DE COMPOSICIÓN QUÍMICA, %

Tipo	Designación UNS	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Otros Elementos
Tipos Austeníticos									
201	S20100	0.15	5.5-7.5	1.00	16.0-18.0	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	S20200	0.15	7.5-10.0	1.00	17.0-19.0	4.0-6.0	0.06	0.03	0.25 N
205	S20500	0.12-0.25	14.0-15.5	1.00	16.5-18.0	1.0-1.75	0.06	0.03	0.32-0.40 N
301	S30100	0.15	2.00	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	0.045	0.03	-
302	S30200	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	-
302B	S30215	0.15	2.00	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	-
303	S30300	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.15 min	0.6 Mo (b)
303Se	S30323	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.06	0.15 min Se
304	S30400	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	-
304H	S30409	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	-
304L	S30403	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	-
304LN	S30453	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	0.10-0.16 N
302Cu	S30430	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Cu
304N	S30451	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.16 N
305	S30500	0.12	2.00	1.00	17.0-19.0	10.5-13.0	0.045	0.03	-
308	S30800	0.08	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	-
309	S30900	0.20	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	-
309S	S30908	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	-
310	S31000	0.25	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	-
310S	S31008	0.08	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	-
314	S31400	0.25	2.00	1.5-3.0	23.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	-
316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316F	S31620	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.20	0.10 min	1.75-2.5 Mo
316H	S31609	0.04-0.10	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316L	S31603	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316LN	S31653	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo; 0.10-0.16 N
316N	S31651	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo; 0.10-0.16 N
317	S31700	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo

317L	S31703	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
321	S32100	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	5 x %C min Ti
321H	S32109	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	5 x %C min Ti
330	N08330	0.08	2.00	0.75-1.5	17.0-20.0	34.0-37.0	0.04	0.03	-
347	S34700	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	10 x %C min Nb
347H	S34709	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	8 x %C min - 1.0 max Nb
348	S34800	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.2 Co; 10 x %C min Nb; 0.10 Ta
348H	S34809	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.2 Co; 8 x %C min - 1.0 max Nb; 0.10 Ta
384	S38400	0.08	2.00	1.00	15.0-17.0	17.0-19.0	0.045	0.03	-
Tipos Ferríticos									
405	S40500	0.08	1.00	1.00	11.5-14.5	-	0.04	0.03	0.10-0.30 Al
409	S40900	0.08	1.00	1.00	10.5-11.75	0.50	0.045	0.045	6 x %C min - 0.75 max Ti
429	S42900	0.12	1.00	1.00	14.0-16.0	-	0.04	0.03	-
430	S43000	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0	-	0.04	0.03	-
430F	S43020	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0	-	0.06	0.15 min	0.6 Mo (b)
430FSe	S43023	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0	-	0.06	0.06	0.15 min Se
434	S43400	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
436	S43600	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75-1.25 Mo; 5 x %C min - 0.70 max Nb
439	S43035	0.07	1.00	1.00	17.0-19.0	0.50	0.04	0.03	0.15 Al; 12 x %C min - 1.10 Ti
442	S44200	0.20	1.00	1.00	18.0-23.0	-	0.04	0.03	-
444	S44400	0.025	1.00	1.00	17.5-19.5	1.00	0.04	0.03	1.75-2.50 Mo; 0.025 N ; 0.2+4 (%C+ %N) min - 0.8 max (Ti+Nb)
446	S44600	0.20	1.50	1.00	23.0-27.0	-	0.04	0.03	0.25 N
Tipo Doble (ferrítico-austenítico)									
329	S32900	0.20	1.00	0.75	23.0-28.0	2.50-5.00	0.04	0.03	1.00-2.00 Mo
Tipo Martensítico									
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	-	0.04	0.03	-
414	S41400	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	1.25-2.50	0.04	0.03	-
416	S41600	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0	-	0.06	0.15 min	0.6 Mo (b)
416Se	S41623	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0	-	0.06	0.06	0.15 min Se
420	S42000	0.15 min	1.00	1.00	12.0-14.0	-	0.04	0.03	-
420F	S42020	0.15 min	1.25	1.00	12.0-14.0	-	0.06	0.15 min	0.6 Mo (b)
422	S42200	0.20-0.25	1.00	0.75	11.5-13.5	0.5-1.0	0.04	0.03	0.75-1.25 Mo; 0.75-1.25 W; 0.15-0.3 V

431	S43100	0.20	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	-
440A	S44002	0.60-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
Tipos de Precipitación - Endurecimiento									
PH 13-8 Mo	S13800	0.05	0.20	0.10	12.25-13.25	7.5-8.5	0.01	0.008	2.0-2.5 Mo; 0.90-1.35 Al; 0.01 N
15-5 PH	S15500	0.07	1.00	1.00	14.0-15.5	3.5-5.5	0.04	0.03	2.5-4.5 Cu; 0.15-0.45 Nb
17-4 PH	S17400	0.07	1.00	1.00	15.5-17.5	3.0-5.0	0.04	0.03	3.0-5.0 Cu; 0.15-0.45 Nb
17-7 PH	S17700	0.09	1.00	1.00	16.0-18.0	6.5-7.75	0.04	0.04	0.75-1.5 Al

Los valores individuales son los valores máximos a menos que se indique otra cosa.

Fuente: Manual ASM Vol. 1, página 843, tabla 2.

<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL ACERO EN CANTIDADES NORMALMENTE UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE ALEACIONES DE ACERO

Elemento	*Aumentar la dureza	Reforzar la ferrita	Formar Carburos	Mejorar la Resistencia de arrastre	Funciones Principales
C	Fuerte a Moderado	Suave		Moderado a Suave	Controlar el nivel de resistencia
Mn	Moderado a Fuerte	Fuerte	Suave	Suave	Dureza
P	Moderado	Fuerte	Nulo	Moderado	Mejorar la resistencia de la Ferrita y la resistencia a la corrosión
S	Ligeramente Negativo	Nulo	Nulo	Nulo	Para mejorar el mecanizado
Si	Moderado	Fuerte	Negativo	Suave	Como un desoxidante o para reducir pérdidas principales en hojas eléctricas
Ni	Moderado	Moderado	Nulo	Suave	Para dureza y para mejorar la dureza de muescas en temperaturas bajas
Cr	Fuerte	Suave	Fuerte	Suave	Dureza y Resistencia a la oxidación
Mo	Fuerte	Moderado	Fuerte	Fuerte	Dureza y para mejorar la Resistencia de arrastre
W	Suave	Suave	Fuerte	Fuerte	Mejorar la resistencia de arrastre
V	Fuerte	Suave	Fuerte	Fuerte	Controlar el tamaño de grano y mejorar la resistencia de arrastre
Ti	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Moderado	Para estabilizar carburos
Co	Negativo	Suave	Nulo	Suave	Incrementar la resistencia de arrastre
Al	Suave	Moderado	Negativo	Negativo	Como un desoxidante, para controlar las temperaturas de rudeza del grano y para aceros nitrurados
Zr	Suave	Desconocido	Fuerte	Desconocido	Para disminuir la resistencia del envejecimiento
Cu	Moderado	Fuerte	Nulo	Desconocido	Resistencia a la Corrosión
B	Fuerte	Desconocido	Desconocido	Desconocido	Dureza
Cb	Fuerte	Desconocido	Fuerte	Moderado	No usado extensivamente

* Suponiendo una solución completa en Austenita.

Fuente: U.S.S. Carilloy Steels, publicado por United States Steel Corporation, 1948.

Capítulo 2- Metalúrgica Del Aluminio

INTRODUCCIÓN AL ALUMINIO

En su forma más pura, el Aluminio es suave y dúctil. Para la mayoría de usos comerciales, sin embargo, requiere mayor resistencia que la que tiene el propio Aluminio. Esto se logra en el Aluminio primero por la adición de otros elementos para producir varias aleaciones, que en forma individual o en combinación dan resistencia al metal. Una mayor resistencia se logra mediante medios que clasifican a las aleaciones básicamente en dos categorías: no tratables térmicamente y tratables térmicamente.

Aleaciones no tratables térmicamente - La resistencia inicial de las aleaciones en el grupo depende del efecto de la dureza de los elementos tales como el Manganeso, Silicio, Hierro y Magnesio; en forma individual o en varias combinaciones. Las aleaciones no tratables térmicamente son designadas generalmente en las series 1000, 3000, 4000 o 5000. Ya que estas aleaciones permiten trabajar con su dureza, se les puede dar más resistencia mediante varios grados de trabajo en frío, denotado aquí por las series "H" de revenido. Las aleaciones que contienen cantidades apreciables de magnesio, al entregarse al revenido de dureza en cadena, se le da generalmente un tratamiento de temperatura final elevada llamado estabilización para asegurar la estabilidad de sus propiedades.

Aleaciones tratables térmicamente - La resistencia inicial de las aleaciones en este grupo es enriquecida mediante la adición de elementos para tales como cobre, magnesio, zinc y silicón. Ya que estos elementos, en forma individual o en varias combinaciones, muestran una solubilidad sólida en el aluminio al aumentar la temperatura; es posible someterles a tratamientos térmicos que les darán una resistencia pronunciada.

El primer paso, llamado tratamiento térmico o solución de tratamiento térmico, es un proceso de temperatura elevada diseñado para poner el elemento soluble o elementos en una solución sólida. Este es seguido por un temple rápido, generalmente en agua, que momentáneamente "congela" la estructura y por un tiempo breve hace a la aleación muy maquinable. Es en esta etapa en la que algunos fabricantes retienen esta estructura más manejable al guardar las aleaciones en temperaturas debajo de la congelación hasta que estas están listas para formarlas. A temperatura ambiente o a elevadas temperaturas las aleaciones no son estables después del temple; sin embargo, se genera una precipitación de los componentes desde el inicio de la solución supersaturada. Después de un período de varios días a temperatura ambiente, el añejamiento o la

precipitación a temperatura ambiente, la aleación es considerablemente más fuerte. Muchas aleaciones se aproximan a la condición estable a temperatura ambiente, pero algunas aleaciones, particularmente aquellas que contienen magnesio y silicio o magnesio y zinc, continúan el añejamiento por periodos largos de tiempo a temperatura ambiente.

Al calentar durante un tiempo controlado a temperaturas ligeramente elevadas, se puede lograr aún una mayor resistencia y las propiedades se estabilizan. A este proceso se le llama añejamiento artificial o endurecimiento por precipitación. A través de la combinación apropiada de la solución de tratamiento térmico, el templado, el trabajo en frío y el añejamiento artificial se pueden obtener las más altas resistencias.

Aleaciones de Revestimiento - Las aleaciones tratables térmicamente, en las que el cobre o zinc son los mayores componentes de la aleación, son menos resistentes al ataque corrosivo que en la mayoría de las aleaciones no tratadas térmicamente. Para aumentar la resistencia a la corrosión de estas aleaciones en forma de hoja y placas se frecuenta revestirlas con aluminio de alta pureza, una aleación con bajo magnesio-silicio, o una aleación que contenga el 1% de zinc. La combinación de revestimiento, generalmente de 2 ½ a 5% del espesor total en cada lado, no sólo protege a los compuestos debido a su propia excelente resistencia a la corrosión inherentemente, sino que también ejerce un efecto galvánico con mayores protecciones al material principal.

Se pueden obtener compuestos especiales tales como revestimientos de aleaciones no tratables térmicamente para la protección de aleaciones que necesitan de extra alta protección a la corrosión; para propósitos de soldadura (brazing) o para acabados superficiales especiales. Algunas aleaciones en alambre y forma tubulares son revestidas por razones similares y en bases experimentales de extrusiones que también han sido revestidas.

Series 1000 – Los Aluminios de 99% o mayor pureza tienen muchas aplicaciones, especialmente en los campos eléctricos y químicos. Estas aleaciones se caracterizan por su excelente resistencia a la corrosión, con una gran conductividad térmica y eléctrica, propiedades mecánicas bajas y un mecanizado excelente. Aumentos moderados en la resistencia pueden ser obtenidos mediante endurecimiento de tensión en cadena. El hierro y el silicio son las impurezas mayores.

Series 2000 – El Cobre es el principal elemento de aleación en este grupo. Estas aleaciones requieren tratamientos térmicos de solución para obtener propiedades óptimas; las propiedades mecánicas en la condición de tratados térmicamente son similares y en algunos casos exceden a aquellas de acero medio. En algunas instancias el añejamiento artificial es empleado para incrementar aún más el punto de la resistencia, tomando en cuenta la pérdida de elongación; su efecto en la resistencia a la tensión (última) es que la resistencia no es tan grande. Las aleaciones en las series 2000 no tienen una resistencia a la corrosión tan buena como la mayoría de aleaciones de Aluminio y bajo ciertas condiciones estas pueden estar sujetas a la corrosión intergranular. Por lo tanto, estas aleaciones en la forma de hoja son generalmente revestidas con una aleación de mayor pureza o aleación magnesio-silicio de las series 6000 que proveen la protección galvánica al material principal y así incrementan grandemente la resistencia a la corrosión. La aleación 2024 es quizás la mayor conocida y más usada en la industria de la aviación.

Series 3000 - El Manganeseo es el elemento que más se usa en este grupo para aleaciones, que son generalmente no tratables térmicamente. Debido sólo a un limitado porcentaje de Manganeseo, hasta alrededor de un 1.5%, se puede añadir efectivamente al Aluminio, se usa como un elemento mayor en muy pocas instancias. Una de estas, sin embargo, es la popular 3003, que es usada grandemente como una aleación de propósito general para aplicaciones de resistencia moderada en donde se requiere un buen mecanizado.

Series 4000 – El mayor elemento para aleaciones de este grupo es el silicio, que puede añadirse en cantidades suficientes para causar una disminución del punto de fusión sin producir fragilidad en las aleaciones resultantes. Por estas razones, las aleaciones de Aluminio-Silicio se usan para soldadura de alambre así como aleaciones para soldadura (brazing) en donde se requiere un punto de fusión más bajo que el del material original. La mayoría de aleaciones en estas series no son tratables térmicamente, pero cuando se usan en aleaciones de soldadura de materiales tratables térmicamente éstas tomarán algo de los constituyentes de las aleaciones del silicio y así responderán al tratamiento térmico hasta un cierto límite. Las aleaciones que contienen cantidades apreciables de silicio se vuelven gris oscuras cuando se aplican los acabados de óxido anódico y por lo tanto son demandados para aplicaciones de arquitectura.

5000 Series- El Magnesio es uno de los elementos de las aleaciones más efectivos y de los más usados para las aleaciones de Aluminio. Cuando se usa como elemento principal de aleación o se usa con Manganeso, el resultado es un aumento moderado a una gran resistencia en las aleaciones de metales no tratables térmicamente. El Magnesio es considerablemente más efectivo que el Manganeso como un endurecedor, alrededor del 0.8% magnesio es igual a 1.25% de Manganeso y puede ser añadido en cantidades considerablemente mayores. Las aleaciones en esta serie poseen buenas características de soldadura y buena resistencia a la corrosión en una atmósfera marina. Sin embargo, se deben tener ciertas limitaciones en la cantidad de trabajo en frío y en la operación segura de temperaturas permisibles para las aleaciones de mayor contenido de magnesio (arriba de alrededor de 3 ½% para temperaturas que operan arriba de 150°F (66°C)) para evitar susceptibilidad al esfuerzo por corrosión.

Series 6000 – Las aleaciones en este grupo contienen silicio y magnesio en proporciones aproximadas para formar silicio de magnesio, haciéndoles tratables térmicamente. La mayor aleación en esta serie es la 6061, una de las más versátiles de las aleaciones tratables térmicamente Aunque menos fuerte que la mayoría de las aleaciones de las series 2000 o 7000; la aleación magnesio-silicio (o silicio de magnesio) posee una buena formabilidad y resistencia a la corrosión, con resistencia o fuerza media. Las aleaciones en el grupo de tratables térmicamente pueden formarse en el revenido T4 (solución de tratamiento térmico pero no añejado artificialmente) alcanzando así las propiedades totales del T6 mediante añejamiento artificial.

Series7000 - El Zinc es el elemento más importante de aleaciones en este grupo y cuando es acoplado con un pequeño porcentaje de magnesio da como resultado aleaciones tratables térmicamente de una resistencia muy elevada. Por general se añaden también otros elementos como el cobre y el cromo en pequeñas cantidades. Un miembro que resalta de este grupo es el 7075, que se encuentra entre las aleaciones de más altas resistencias y se usa en estructuras aeronáuticas y para piezas con grandes esfuerzos.

Fuente: The Aluminum Association, Aluminum Standards and Data 1974-75.
<http://www.aluminum.org/>

Capítulo 3 – Atmósferas Protectoras

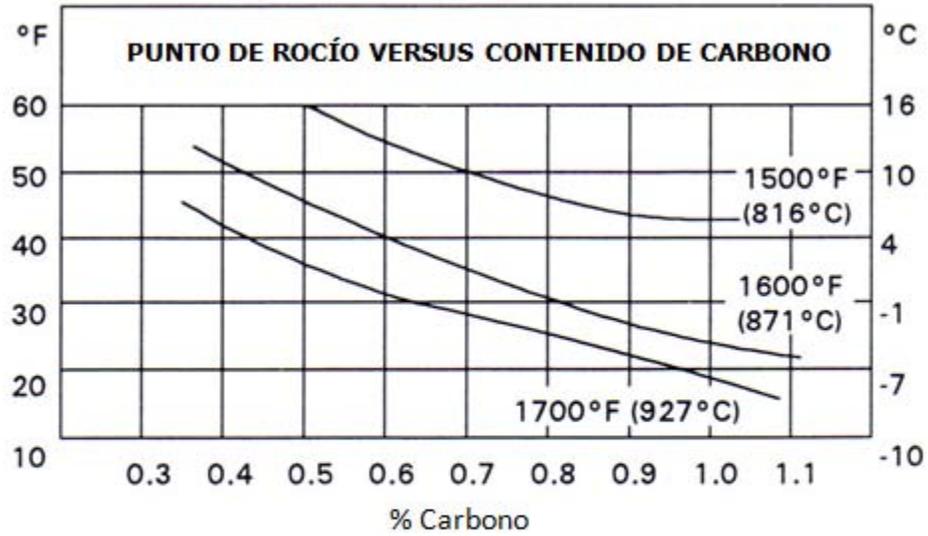
GUÍA PARA RECOMENDAR EL USO DE GENERADORES DE ATMÓSFERA SECOWARWICK

Metales a Procesar	Proceso	Tiempo Ciclo		Apariencia		Rango de Temperatura		Sugerido
		Largo ¹	Corto	Brillante	Limpio	°F	°C	Generador de Atmósfera
Aceros Bajos en Carbono	Revenido		X	*		1200-1350	(649-732)	Exogas ^{4,7}
Aceros de Medio y Alto Carbono	Revenido (Sin descarburizado)	X	X	*		12-00-1450	(649-788)	Endogas
Aleación de Aceros con medio y alto Carbono	Revenido (Sin descarburizado)	X	X	*		1300-1600	(704-871)	Endogas
Aceros de Alta Velocidad incluyendo aceros al alto Molibdeno	Revenido (Sin descarburizado)	X	X	*		1400-1600	(760-871)	Endogas
Aceros Inoxidables al Cromo y al Níquel - Cromo	Revenido	X	X	*		1800-2100	(982-1149)	Endogas
Cobre	Revenido	X	X	*		400-1200	(204-649)	Exogas ⁵
Bronces Diversos	Revenido	X	X		*	800-1350	(427-732)	Exogas ⁵ Ammogas
Aleaciones Cobre – Níquel	Revenido	X	X	*		800-1400	(427-760)	Exogas ⁵
Aleaciones Silicio –Cobre	Revenido	X	X	*		1200-1400	(649-760)	Exogas ^{4,7}
Aleaciones de Aluminio	Revenido y Homogenizado	X	X	*		700-1100	(371-593)	Exogas ^{4,5,7}
Aceros de Bajo Carbono y Silicio	Revenido		X		*1	1400-1500	(760-816)	Exogas ^{4,7}
Aceros de Bajo Carbono y Silicio	Pavonado (Blueing)		X		*	850-950	(454-510)	Exogas ^{6,7}
Aceros al Bajo Carbono	Soldadura de Cobre		X	*		2050	(1121-)	Exogas ^{4,7}
Aleaciones de Acero de Medio y Alto Carbono	Soldadura de Cobre (Sin Descarburizado)		X	*		2050	(1121-)	Endogas
Aceros al Alto Carbono y al Alto Cromo	Soldadura de Cobre (Sin Descarburizado)		X	*		2050	(1121-)	Ammogas

Aceros Inoxidables	Soldadura de Cobre		X	*		2050	(1121-)	Ammogas
Cobre o Bronce	Soldadura de Cobre y Fósforo o Soldadura de Plata		X	*		1200-1600	(649-871)	Exogas ⁵
Aleaciones de Carbono y Acero	Endurecimiento (Sin descarburizado)		X		*	1400-2400	(760-1316)	Endogas
Aleaciones de Acero al Medio y Alto Carbono	Endurecimiento (Sin descarburizado)		X	*		1400-1800	(760-982)	Endogas
Aleaciones de Acero al Medio y Alto Carbono	Endurecimiento (Sin descarburizado)		X	*		1400-1800	(760-982)	Endogas
Aceros de Alta Velocidad para Herramientas incluyendo Molibdeno	Endurecimiento (Sin descarburizado)		X	*		1800-2400	(982-1316)	Endogas
Toda Clase de Metales Ferrosos	Revenido o Embutido		X	*		400-1200	(204-649)	Exogas ^{4,7}
Aceros Carburizados	Gas Carburizado	X			*	1400-1800	(760-982)	Endogas ³
Metales Férricos Bajos en Carbono	Reducción y Sinterizado		X	*		1800-2050	(982-1121)	Endogas
Aleaciones de Metales Ferrosos y Alto Carbono	Reducción y Sinterizado		X			1800-2050	(982-1121)	Endogas Ammogas
Metales no Ferrosos	Reducción y Sinterizado		X			1400-1800	(760-982)	Endogas Ammogas
Aceros al Bajo Carbono	Normalizado	X	X			1600-1850	(871-1010)	Exogas ^{4,7} Endogas
Aleaciones de Acero y Alto Carbono	Normalizado (Sin Descarburizado)	X	X			1500-2000	(816-1093)	Endogas

- (1) El tiempo ciclo es “largo” si es mayor a dos horas.
- (2) Atmósfera de gas rica o esbelta, dependiendo de las aplicaciones individuales.
- (3) Se puede usar una atmósfera de gas exotérmica como transportador.
- (4) Atmósfera rica de gas.
- (5) Atmósfera esbelta de gas.
- (6) Atmósfera medio rica de gas.
- (7) (+40°F) (4.4°C) Atmósfera de gas – Punto de Rocío.

PUNTO DE ROCÍO VERSUS CONTENIDO DE CARBONO

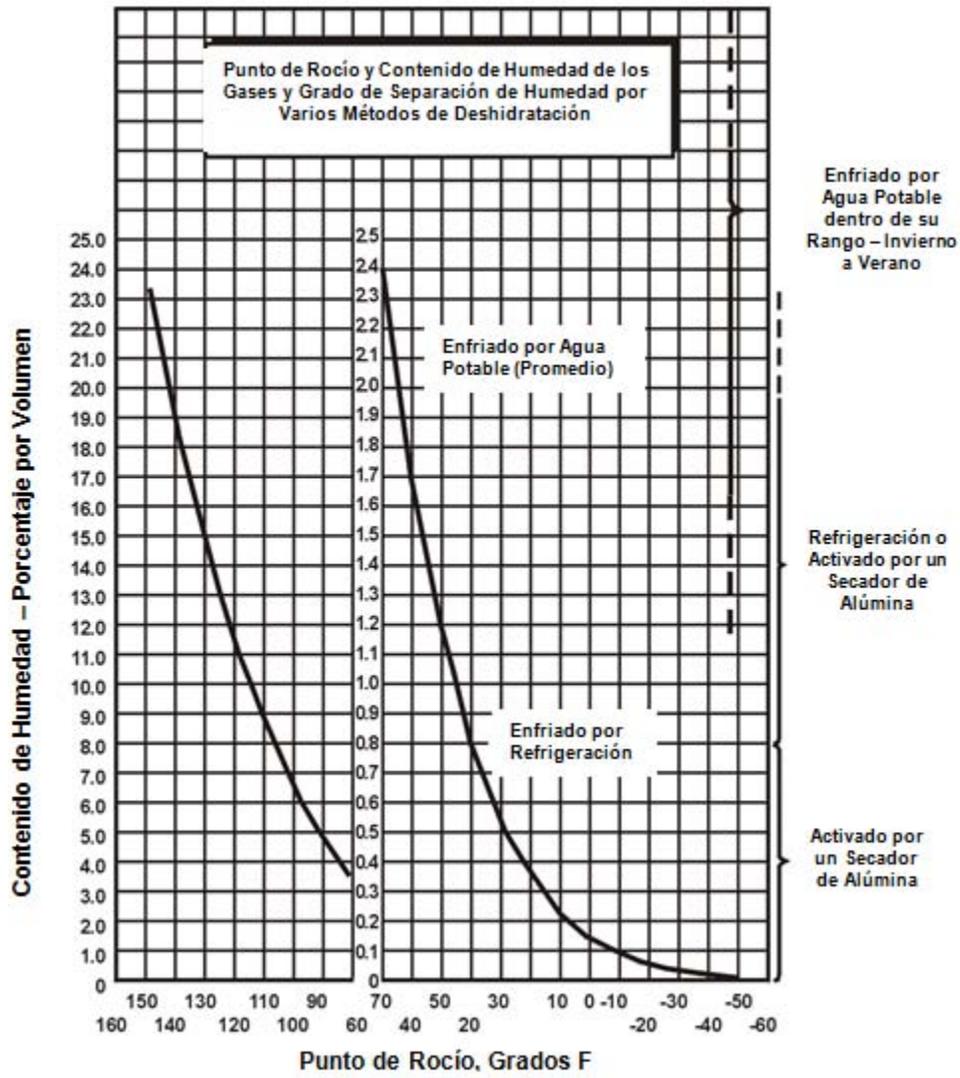


Relación típica en aplicaciones de endurecimiento neutral entre el contenido de carbono de un acero y el punto de rocío de una atmósfera endotérmica a diversas temperaturas.

Enlace a mayor información en Generadores Endotérmicos:

<http://www.secowarwick.com/thermal/bulletins/EndothermicGeneraar.pdf>

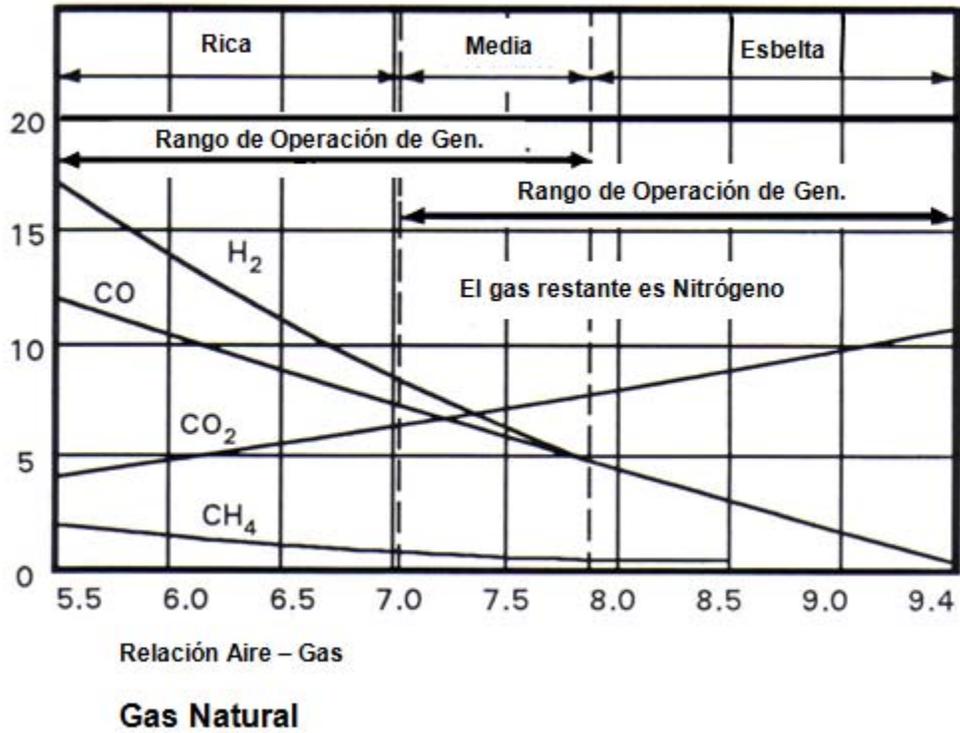
PUNTO DE ROCÍO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS GASES



RELACIONES DE AIRE- GAS ATMOSFÉRICO

Atmósfera Exotérmica de gas natural

(90% CH₄, C₂ H₆, 5% N₂)

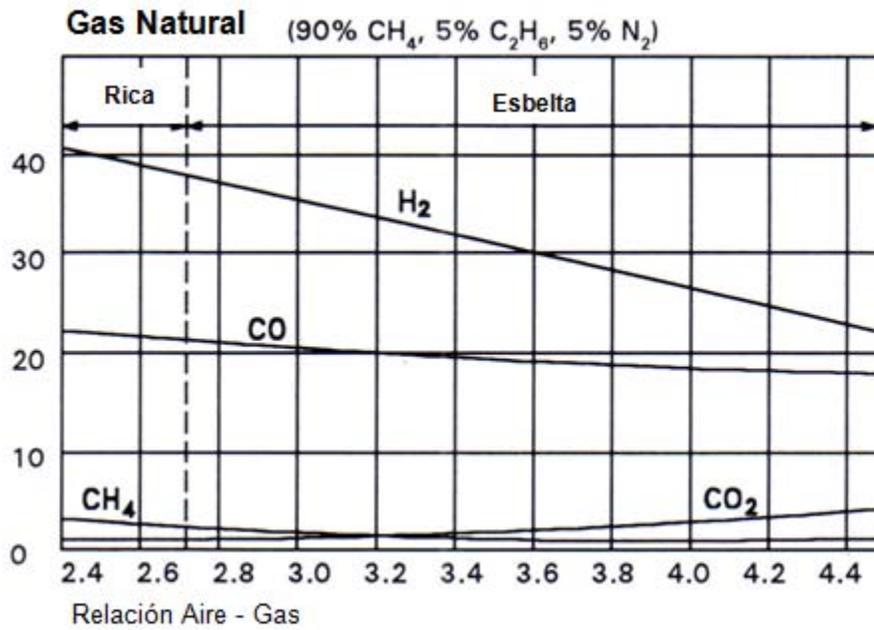


Enlace a mayor información en Generadores Exotérmicos:

<http://www.secowarwick.com/thermal/bulletins/ExothermicGeneraar.pdf>

Atmósfera Endotérmica de gas natural

(90% CH₄, C₂H₆, 5% N₂)



Enlace a mayor información en Generadores Endotérmicos:

<http://www.secowarwick.com/thermal/bulletins/EndothermicGeneraar.pdf>

Capítulo 4 - Tratamientos Térmicos Típicos de Acero de acuerdo a la S.A.E

TABLA 1 - CASOS DE GRADOS DE TEMPLADO DE ACERO DE CARBONO

SAE	Carbono	Enfriamiento	Re- calentamiento	Enfriamiento	Carbonitrurado	Enfriamiento	Revenido, F ³
Aceros ¹	Revenido F	Método	Revenido F	Medio	Revenido F ²	Método	
1010	-	-	-	-	1450-1650	Aceite	250-400
1015	-	-	-	-	1450-1650	Aceite	250-400
1016	1650-1700	Agua o Caústico	-	-	1450-1650	Aceite	250-400
1018	1650-1700	Agua o Caústico	1450	Agua or Caústico ⁴	1450-1650	Aceite	250-400
1019	1650-1700	Agua o Caústico	1450	Agua or Caústico ⁴	1450-1650	Aceite	250-400
1020	1650-1700	Agua o Caústico	1450	Agua or Caústico ⁴	1450-1650	Aceite	250-400
1022	1650-1700	Agua o Caústico	1450	Agua or Caústico ⁴	1450-1650	Aceite	250-400
1026	1650-1700	Agua o Caústico	1450	Agua or Caústico ⁴	1450-1650	Aceite	250-400
1030	1650-1700	Agua o Caústico	1450	Agua or Caústico ⁴	1450-1650	Aceite	250-400
1109	1650-1700	Agua o Aceite	1400-1450	Agua or Caústico ⁴	-	-	250-400
1117	1650-1700	Agua o Aceite	1450-1600	Agua or Caústico ⁴	1450-1650	Aceite	250-400
1118	1650-1700	Aceite	1450-1600	Aceite	-	-	250-400
1513	1650-1700	Aceite	1450	Aceite	-	-	250-400
1518	-	-	-	-	-	-	-
1522	1650-1700	Aceite	1450	Aceite	-	-	250-400
1524 (1024)	1650-1700	Aceite	1450	Aceite	-	-	250-400
1525	1650-1700	Aceite	1450	Aceite	-	-	250-400
1526	1650-1700	Aceite	1450	Aceite	-	-	250-400
1527 (1027)	1650-1700	Aceite	1450	Aceite	-	-	250-400

Ver las notas en la siguiente página

- (1) Generalmente, no es necesario normalizar los grados de carbono para lograr sus requerimientos dimensionales o de maquinabilidad de partes hechas de los grados de acero enlistados en la tabla, aún en donde las dimensiones son de vital importancia, las temperaturas de normalizado de al menos 50°F arriba de las temperaturas de carburizado son requeridas algunas veces.
- (2) Los aceros de alto contenido de Manganeso tales como las series 1118 y las 1500 no son generalmente carbonitruradas. Si se realiza un carbonitrurado, se debe tener cuidado para limitar el contenido de nitrógeno porque un nitrógeno elevado incrementará su tendencia a retener austenita.
- (3) Aún cuando las temperaturas de revenido son mostradas, el revenido no es mandatorio en muchas de sus aplicaciones. El revenido se emplea generalmente para una liberación parcial de esfuerzos y mejora la resistencia al agrietamiento en las operaciones de rectificado. Las temperaturas mayores que aquellas mostradas pueden emplearse hasta donde la especificación de la dureza de las partes acabadas lo permita.
- (4) 3% Hidróxido de sodio.

Enlace a S. A. E. International: <http://www.sae.org/>

TABLA 2 - GRADOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE ACERO DE CARBONO

SAE	Normalizado	Recocido	Endurecido	Templado	Revenido ¹
Aceros	Temp °F	Temp °F	Temp °F	Medio	
1030	-	-	1575-1600	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1035	-	-	1550-1600	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1037	-	-	1525-1575	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1038 ²	-	-	1525-1575	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1039 ²	-	-	1525-1575	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1040 ²	-	-	1525-1575	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1042	-	-	1500-1550	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1043 ²	-	-	1500-1550	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1045 ²	-	-	1500-1550	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1046 ²	-	-	1500-1550	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1050 ²	1600-1700	-	1500-1550	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1053	1600-1700	-	1500-1550	Agua o Caústico	A la dureza deseada
1060	1600-1700	1400-1500	1575-1625	Aceite	A la dureza deseada
1074	1550-1650	1400-1500	1575-1625	Aceite	A la dureza deseada
1080	1550-1650	1400-1500 ³	1575-1625	Aceite ⁴	A la dureza deseada
1084	1550-1650	1400-1500 ³	1575-1625	Aceite ⁴	A la dureza deseada
1085	1550-1650	1400-1500 ³	1575-1625	Aceite ⁴	A la dureza deseada
1090	1550-1650	1400-1500 ³	1575-1625	Aceite ⁴	A la dureza deseada
1095	1550-1650	1400-1500 ³	1575-1625	Agua o Aceite	A la dureza deseada
1137	-	-	1550-1600	Aceite	A la dureza deseada
1141	-	1400-1500	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada

1144	1600-1700	1400-1500	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
1145	-	-	1475-1500	Agua o Aceite	A la dureza deseada
1146	-	-	1475-1500	Agua o Aceite	A la dureza deseada
1151	1600-1700	-	1475-1500	Agua o Aceite	A la dureza deseada
1536	1600-1700	-	1500-1550	Agua o Aceite	A la dureza deseada
1541 (1041)	1600-1700	1400-1500	1500-1550	Agua o Aceite	A la dureza deseada
1548 (1048)	1600-1700	-	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
1552 (1052)	1600-1700	-	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
1566 (1066)	1600-1700	-	1575-1625	Aceite	A la dureza deseada

(1) Aún en donde se recomiendan las temperaturas de revenido, éstas no son mandatorias en muchas aplicaciones. El revenido se emplea generalmente para una liberación parcial de esfuerzos y mejora la resistencia al agrietamiento de operaciones de rectificado. Se pueden emplear temperaturas mayores que aquellas mostradas en donde las especificaciones de dureza de las partes terminadas lo permitan.

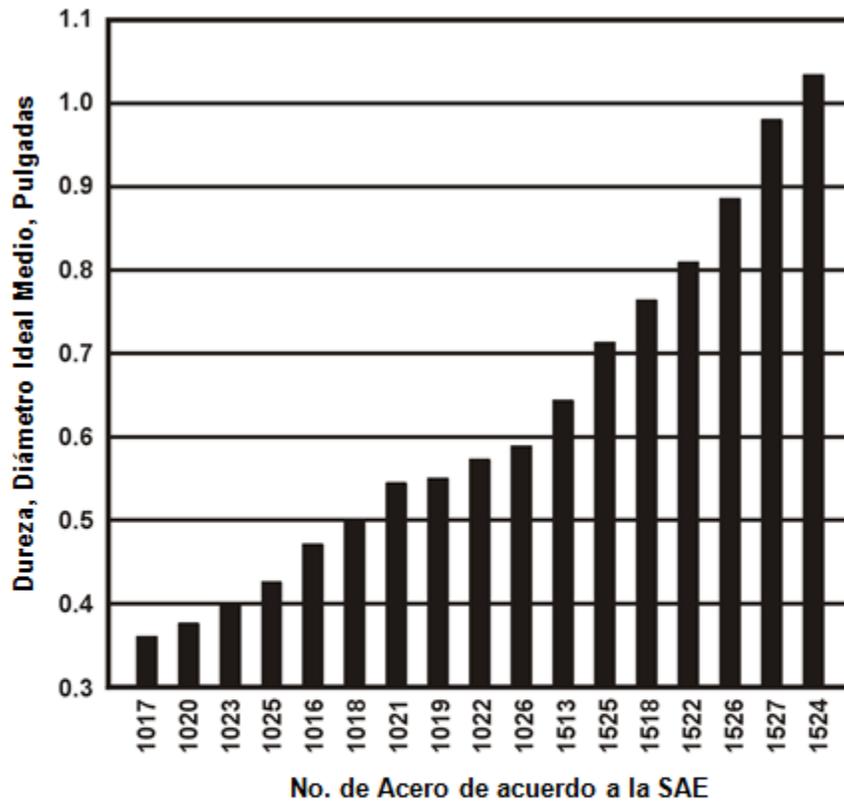
(2) Esto se usa comúnmente en partes en donde se emplea un templado por inducción. Sin embargo, todos los aceros de SAE 1030 y arriba pueden tener aplicaciones de templado por inducción.

(3) Las estructuras esferoidales se requieren frecuentemente para propósitos de maquinado y deben enfriarse muy lentamente o transformarse isotérmicamente para producir la estructura deseada.

(4) Puede haber agua o solución salina para templado mediante técnicas especiales tales como una inmersión parcial o un tiempo de templado; de otra forma éstas están sujetas a un agrietamiento durante el templado.

Enlace a S. A. E. International: <http://www.sae.org/>

GRÁFICA DE DUREZAS



Bases del Cálculo:
Grano Tamaño No. 7
Media de Grado de Carbono
Media de Grado de Manganeso

Figura 1 – Selección de Grados de Carbonización del Acero con Carbono en base a su dureza relativa

Enlace a S. A. E. International: <http://www.sae.org/>

TABLA 3 - GRADOS DE CARBURIZACIÓN DE ALEACIONES DE ACEROS

SAE Aceros ¹	Pre-Tratamientos			Carburizado Temp ⁵ °F	Método de Enfriamiento	Temp °F de Re-calentamiento	Medio de Templado	Revenido ⁴ Temp °F
	Normalizado ²	Normalizado y Revenido ³	Ciclo de Recocido ⁴					
4012	Sí	-	-	1650-1700				
4023	Sí	-	-	1650-1700				
4024	Sí	-	-	1650-1700				
4027	Sí	-	-	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-350
4028	Sí	-	-	1650-1700				
4032	Sí	-	-	1650-1700				
4118	Sí	-	-	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-350
4320	Sí	-	Sí	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	
				1650-1700	Enfriamiento lento	1525-1550 ⁹	Aceite	250-350
4419	Sí	-	Sí	1650-1700				
4422	Sí	-	Sí	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-350
4427	Sí	-	Sí	1650-1700				
4615	Sí	-	Sí	1650-1700				
4617	Sí	-	Sí	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-350
4620	Sí	-	Sí	1650-1700	Enfriamiento lento	1525-1550 ⁹	Aceite	250-350
4621	Sí	-	Sí	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	1525-1550 ⁸	Aceite	250-350
4626	Sí	-	Sí	1650-1700				
4718	Sí	-	Sí	1650-1700				
4720	Sí	-	Sí	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	1500-1550 ⁸	Aceite	250-350
4815	-	Sí	Sí	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-325
4817	-	Sí	Sí	1650-1700	Enfriamiento lento	1475-1525	Aceite	250-325
4820	-	Sí	Sí	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	1475-1525	Aceite	250-325
5015	Sí	-	Sí	1650-1700				
5115	Sí	-	Sí	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-350
5120	Sí	-	Sí	1650-1700				
6118	Sí	-	-	1650	Templado en Aceite ⁷	-	-	325
8115	Sí	-	-	1650-1700				

8615	Sí	-	-	1650-1700				
8617	Sí	-	-	1650-1700				
8620	Sí	-	-	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-350
8622	Sí	-	-	1650-1700	Enfriamiento lento	1500-1600 ⁹	Aceite	250-350
8625	Sí	-	-	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	1500-1600 ⁸	Aceite	250-350
8627	Sí	-	-	1650-1700				
8720	Sí	-	-	1650-1700				
8822	Sí	-	-	1650-1700				
9310	-	Sí	-	1600-1700	Templado en Aceite ⁷	1450-1525 ⁸		
					Enfriamiento lento	1450-1525 ⁹	Aceite	250-325
94B15	Sí	-	-	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-350
94B17	Sí	-	-	1650-1700	Templado en Aceite ⁷	-	-	250-350

- (1) Estos aceros son de grano fino. Los tratamientos térmicos no son necesariamente correctos para granos burdos.
- (2) La temperatura de Normalizado debe ser al menos tan alta que la de Carburizado seguida por enfriamiento en aire.
- (3) Después del Normalizado, vuelva a calentar a la temperatura de 1100-1200°F y sostenga a una temperatura por aproximadamente 1 hr. por pulgada de una sección máxima o a 4 hr. de tiempo mínimo.
- (4) En donde el ciclo de Revenido es deseado, caliente al menos tan alto como la temperatura de carburizado, sostenga en forma uniforme y enfríe rápidamente a 1000-1250°F; espere de 1 a 3 hrs y entonces enfríe al aire o en el horno para obtener una estructura adecuada para el maquinado y terminado.
- (5) Es una práctica general el reducir las temperaturas de carburizado a aproximadamente 1550°F antes de templar para minimizar la distorsión y retener austenita. Para las Series de aceros 4800, la temperatura de carburizado se reduce a aproximadamente 1500°F antes del templado.
- (6) El tratamiento de revenido es opcional. El revenido se emplea generalmente para una liberación parcial de esfuerzos y para mejorar la resistencia al agrietamiento para operaciones de rectificado. Las temperaturas mayores que aquellas mostradas se usan en algunas instancias en que su aplicación así lo requieren.
- (7) Este tratamiento se usa en forma más común y generalmente produce un mínimo de distorsión.
- (8) Este tratamiento se usa en donde se requiere un grado de refinación máximo del grano y/o en donde las partes son subsecuentemente maquinadas en dimensiones críticas. Una combinación de buenos materiales y propiedades principales asegura un grado un poco mayor de distorsión del que se obtiene de un solo templado desde el tratamiento de carburizado.
- (9) En este tratamiento las partes son enfriadas lentamente, de preferencia en una atmósfera de protección. Después se les vuelve a calentar y templar en aceite. Se requiere posteriormente una operación de revenido. Este tratamiento se usa cuando el maquinado es efectuado entre el carburizado y el templado o si no se tienen los equipos de templado para formar el ciclo de carburizado. La distorsión es al menos igual que la obtenida por un templado simple para formar el ciclo de carburizado, como se describe en la nota 5.

Enlace a S. A. E. International: <http://www.sae.org/>

TABLA 4 - GRADOS DE ENDURECIMIENTO DIRECTO DE ALEACIONES DE ACERO

SAE Aceros ¹	Normalizado ² Temp °F	Recocido ⁴ Temp °F	Dureza ⁵ Temp °F	Templado Medio	Revenido
1330	1600-1700	1550-1650	1525-1575	Agua o Aceite	A la dureza deseada
1335	1600-1700	1550-1650	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
1340	1600-1700	1550-1650	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
1345	1600-1700	1550-1650	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
4037	-	1500-1575	1525-1575	Aceite	A la dureza deseada
4042	-	1500-1575	1525-1575	Aceite	A la dureza deseada
4047	-	1450-1550	1500-1575	Aceite	A la dureza deseada
4130	1600-1700	1450-1550	1500-1600	Agua o Aceite	A la dureza deseada
4135	-	1450-1550	1550-1600	Aceite	A la dureza deseada
4137	-	1450-1550	1550-1600	Aceite	A la dureza deseada
4140	-	1450-1550	1550-1600	Aceite	A la dureza deseada
4142	-	1450-1550	1550-1600	Aceite	A la dureza deseada
4145	-	1450-1550	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
4147	-	1450-1550	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
4150	-	1450-1550	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
4161	-	1450-1550	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada, 700 F, min
4340	1600-1700	1450-1550	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
50B40	1600-1700	1500-1600	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
50B44	1600-1700	1500-1600	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
5046	1600-1700	1500-1600	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
50B46	1600-1700	1500-1600	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
50B50	1600-1700	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
5060	1600-1700	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
50B60	1600-1700	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
5130	1600-1700	1450-1550	1525-1575	Agua, Solución Caústica, o Aceite	A la dureza deseada
5132	1600-1700	1450-1550	1525-1575	Agua, Solución Caústica, o Aceite	A la dureza deseada
5135	1600-1700	1500-1600	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada

5140	1600-1700	1500-1600	1500-1550	Aceite	A la dureza deseada
5147	1600-1700	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
5150	1600-1700	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
5155	1600-1700	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
5160	1600-1700	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
51B60	1600-1700	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
50100	-	1350-1450	1425-1475	Agua	A la dureza deseada
51100	-	1350-1450	1500-1600	Aceite	A la dureza deseada
52100	-	1350-1450			A la dureza deseada
6150	-	1550-1650	1550-1625	Aceite	A la dureza deseada
61B45	1600-1700	1550-1650	1500-1575	Aceite	A la dureza deseada
8630	1600-1700	1450-1550	1525-1600	Agua o Aceite	A la dureza deseada
8637	-	1500-1600	1525-1575	Aceite	A la dureza deseada
8640	-	1500-1600	1525-1575	Aceite	A la dureza deseada
8642	-	1500-1600	1500-1575	Aceite	A la dureza deseada
8645	-	1500-1600	1500-1575	Aceite	A la dureza deseada
86B45	-	1500-1600	1500-1575	Aceite	A la dureza deseada
8650	-	1500-1600	1500-1575	Aceite	A la dureza deseada
8655	-	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
8660	-	1500-1600	1475-1550	Aceite	A la dureza deseada
8740	-	1500-1600	1525-1575	Aceite	A la dureza deseada
9254	-	-	1500-1650	Aceite	A la dureza deseada
9260	-	-	1500-1650	Aceite	A la dureza deseada
94B30	1600-1700	1450-1550	1550-1625	Aceite	A la dureza deseada

- (1) Estos Aceros son de grano fino a menos que se especifique otra cosa.
- (2) Estos Aceros deben ser ya sea normalizados o revenidos para una maquinabilidad óptima.
- (3) Revenido a 110-1225.
- (4) El ciclo específico de revenido depende del contenido de la aleación del acero, el tipo subsecuente de operaciones de maquinado y el acabado deseado de la superficie.
- (5) Frecuentemente, estos aceros, con la excepción de los 4340, 50100, 51100, y 52100, son endurecidos y revenidos a una dureza final maquinable sin un tratamiento térmico preliminar.

Enlace a S. A. E. International: <http://www.sae.org/>

CONTENIDO MEDIO DE CARBONO EN BASE A ESPECIFICACIÓN S.AE., %

Contenido Medio de Carbono de la Especificación SAE, %	Aplicaciones Comunes
0.30-0.37	Partes tratadas térmicamente que requieren de una resistencia moderada y una gran robustez.
0.40-0.42	Partes tratadas térmicamente que requieren una mayor resistencia y una buena robustez.
0.45-0.50	Partes tratadas térmicamente que requieren de una gran dureza y una gran resistencia con robustez moderada.
0.50-0.60	Resortes y herramientas manuales.
1.02	Baleros de bola y de rodillos.

TABLA 5 - GRADOS DE CROMO - NÍQUEL EN ACEROS AUSTENÍTICOS NO ENDURECIDOS BAJO TRATAMIENTO TÉRMICO

Designación	#	#	Normalizado	Recocido ¹	Dureza	Templado	
UNS	AISI	Tratamiento	Temp °F	Temp °F	Temp °F	Medio	
S20100	201	1	-	1850-2050	-	Agua o Aire	-
S20200	202	1	-	1850-2050	-	Agua o Aire	-
S30100	301	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S30200	302	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S30300	303	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S30400	304	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S30500	305	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S30900	309	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S31000	310	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S31600	316	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S31700	317	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
S32100	321	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-
N08330	330	1	-	2050-2250	-	Aire	-
S34700	347	1	-	1800-2100	-	Agua o Aire	-

(1) Templado para producir una estructura totalmente austenítica usando Agua o Aire de acuerdo con el espesor de la sección. Las temperaturas de recocido dadas cubren el proceso y revenido total como ya se estableció y usó por la industria; el rango último se usa para el proceso de revenido.

Enlace a S. A. E. International: <http://www.sae.org/>

TABLA 6 - ACEROS NO OXIDABLES CON CROMO

Aceros SAE	#	#	Normalizado	Recocido Subcrítico	Recocido Total ¹	Endurecimiento	Templado	Revenido
	AISI	Tratamiento	Temp °F	Temp °F	Temp °F	Temp °F	Medio	
S40900	409	1	-	-	1550-1650	-	Aire	-
S41000	410	1	-	1300-1350 ²	1550-1650	-	Aceite o Aire	A la dureza deseada
		2	-	-	-	1750-1850		
S41400	414	1	-	1200-1250 ²	-	-	Aceite o Aire	A la dureza deseada
		2	-	-	-	1750-1850		
S41600	416	1	-	1300-1350 ²	1550-1650	-	Aceite o Aire	A la dureza deseada
		2	-	-	-	1750-1850		
S42000	420	1	-	1350-1450 ²	1550-1650	-	Aceite o Aire	A la dureza deseada
		2	-	-	-	1800-1850		
S42020	420F	1	-	1350-1450 ²	1550-1650	-	Aceite o Aire	A la dureza deseada
		2	-	-	-	1800-1850		
S43000	430	1	-	1400-1500 ⁴	-	-	-	-
S43020	430F	1	-	1250-1500 ⁴	-	-	-	-
S43100	431	1	-	1150-1225 ²	-	1800-1900	Aceite o Aire	A la dureza deseada
S43400	434							
S43600	436	1	-	1400-1500 ⁴	-	-	-	-
S44002	440A							
S44003	440B							
S44004	440C ³		-	1350-1440 ²	1550-1650	1850-1950	Aceite o Aire	A la dureza deseada
S44200	442	1	-	1440-1500 ⁴	-	-	-	-
S44600	446	1	-	1500-1650 ²	-	-	-	-
51501	501		-	1325-1375 ⁴	1525-1600	1600-1700	Aceite o Aire	A la dureza deseada

(1) Enfriamiento lento en el Horno.

(2) Generalmente el enfriado es en el aire- pero puede ser enfriado en el Horno.

(3) Los sufijos A, B, y C denotan tres tipos de aceros que difieren sólo por su contenido de carbono. El Sufijo F denota un acero libre de maquinados

(4) Enfriamiento rápido en aire.

Enlace a S. A. E. International: <http://www.sae.org/>

TABLA 7 - ACEROS NO OXIDABLES FORJADOS DE MAQUINABILIDAD ESPECIAL

Designación de Propietario	No. de Tratamiento	Recocido Subcrítico Temp °F	Recocido Total Temp °F	Dureza Temp °F	Templado Medio	Revenido
203-EZ	1	-	1850-2050 ¹	-	Agua o Aire	-
303 Ma	1	-	1850-2050 ¹	-	Agua o Aire	-
303 Pb	1	-	1850-2050 ¹	-	Agua o Aire	-
303 Cu	1	-	1850-2050 ¹	-	Agua o Aire	-
303 Plus X	1	1300-1350 ²	1550-1650 ³	-	-	-
416 Plus X	11	-	-	1750-1850	Aceite o Aire	A la dureza deseada

(1) Templado para producir una estructura totalmente austenítica usando Agua o Aire de acuerdo con el espesor de la sección. Las temperaturas de revenido dadas cubren el proceso así como un recocido total como se ha establecido y usado ya por la industria y el extremo inferior del rango usado para el proceso de revenido.

(2) Generalmente enfriado por Aire-pero también puede ser enfriado en el Horno.

(3) Enfriamiento lento en el Horno.

Enlace a S. A. E. International: <http://www.sae.org/>

TEMPERATURAS DE NORMALIZADO Y RECOCIDO DE ACEROS PARA
HERRAMIENTAS

Acero		Temperatura de Tratamiento de Normalizado (a)		Recocido (b)				
				Temperatura		Relación de Enfriamiento, max		Dureza
Tipo	°C		°F	°C	°F	°C/h	°F/h	Escala HB
Aceros con Molibdeno de Alta Velocidad								
M1, M10		No normalizar		815-970	1500-1600	22	40	207-235
M2		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	212-241
M3, M4		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	223-255
M6		No normalizar		870	1600	22	40	248-277
M7		No normalizar		815-870	1500-1600	22	40	217-255
M30, M33, M34, M36, M41, M42, M46, M47		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	235-269
M43		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	248-269
M44		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	248-293
Aceros con Tungsteno de Alta Velocidad								
T1		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	217-255
T2		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	223-255
T4		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	229-269
T5		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	235-277
T6		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	248-293
T8		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	229-255
T15		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	241-277
Aceros con Cromo de Trabajo Caliente								
H10, H11, H12, H13		No normalizar		845-900	1550-1650	22	40	192-229
H14		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	207-235
H19		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	207-241
Aceros con Tungsteno de Trabajo Caliente								
H21, H22, H25		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	207-235
H23		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	212-255
H24, H26		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	217-241
Aceros con Molibdeno de Trabajo Caliente								
H41, H43		No normalizar		815-870	1500-1600	22	40	207-235
H42		No normalizar		845-900	1550-1650	22	40	207-235
Aceros de Alto Carbono y Alto Cromo de Trabajo Frío								
D2, D3, D4		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	217-255
D5		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	223-255
D7		No normalizar		870-900	1600-1650	22	40	235-262
Aceros de Aleación Media, Endurecimiento por Aire de Trabajo Frío								
A2		No normalizar		845-870	1550-1600	22	40	201-229
A3		No normalizar		845-870	1550-1600	22	40	207-229
A4		No normalizar		740-760	1360-1400	14	25	200-241
A6		No normalizar		730-745	1350-1375	14	25	217-248
A7		No normalizar		870-900	1600-1650	14	25	235-262
A8		No normalizar		845-870	1550-1600	22	40	192-223

A9		No normalizar		845-870	1550-1600	14	25	212-248
A10	790		1450	765-795	1410-1460	8	15	235-269
Aceros de Endurecimiento por Aceite de Trabajo Frío								
O1	870		1600	760-790	1400-1450	22	40	183-212
O2	845		1550	745-775	1375-1425	22	40	183-212
O6	870		1600	765-790	1410-1450	11	20	183-217
O7	900		1650	790-815	1450-1500	22	40	192-217
Aceros Resistentes a Impacto								
S1		No normalizar		790-815	1450-1500	22	40	183-229(c)
S2		No normalizar		760-790	1400-1450	22	40	192-217
S5		No normalizar		775-800	1425-1475	14	25	192-229
S7		No normalizar		815-845	1500-1550	14	25	187-223
Aceros para Molde								
P2		No requerido		730	1350-1500	22	40	103-123
P3		No requerido		815	1350-1500	22	40	109-137
P4		No normalizar		870-900	1600-1650	14	25	116-128
P5		No requerido		845-870	1550-1600	22	40	105-116
P6		No requerido		845	1550	8	15	183-217
P20	900		1650	760-790	1400-1450	22	40	149-179
P21	900		1650	No recocer				
Aceros de Aleación Baja para Propósito Especial								
L2	870-900		1600-1650	760-790	1400-1450	22	40	163-197
L3	900		1650	790-815	1450-1500	22	40	174-201
L6	870		1600	760-790	1400-1450	22	40	183-212
Aceros de Carbono-Tungsteno para Propósito Especial								
F1	900		1650	760-800	1400-1475	22	40	183-207
F2	900		1650	790-815	1450-1500	22	40	207-235
Aceros Endurecidos por Agua								
W1, W2	790-925(d)		1450-1700(d)	740-790(e)	1360-1450(e)	22	40	156-201
W5	870-925		1600-1700	760-790	1400-1450	22	40	163-201

(a) El tiempo que la temperatura debe mantenerse varía de 15 min para una pequeña sección hasta 1 hora para tamaños grandes. El enfriado debe ser efectuado al aire libre. El Normalizado no debe ser confundido con el Recocido a bajas temperaturas.

(b) Los rangos de límites superiores deben ser utilizados para secciones grandes y los rangos de límites inferiores para secciones más pequeñas. El tiempo que la temperatura debe mantenerse varía de 1 hora para secciones delgadas y hasta 4 horas para secciones pesadas y para hornos largos con aleaciones altas en el acero.

(c) Para Si 0.25 tipo 183 a 207 Escala HB; para Si 1.00 tipo, 207 a 229 Escala HB.

(d) La temperatura varía de acuerdo al contenido de carbono: 0.60 a 0.75 °C, 815 °C (1500 °F); 0.75 a 0.90 °C, 790 °C (1450 °F); 0.90 a 1.10 °C, 870 °C (1600 °F); 1.10 a 1.40 °C, 870 a 925 °F (1600 a 1700 °F).

(e) La temperatura varía de acuerdo al contenido de carbono: 0.60 a 0.90 °C, 740 a 790 °C (1360 a 1450 °F); 0.90 a 1.40 °C, 760 a 790 °C (1400 a 1450 °F).

Fuente: Manual ASM Vol. 4, página 715, TABLA 2. <http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

TRATAMIENTO TÉRMICO DE ACEROS PARA HERRAMIENTAS

		Endurecimiento				Tiempo en el Templado		Temperatura de Revenido	
		Temperatura de Pre-Calentamiento		Temperatura de Endurecimiento		temp, min	medio (a)	°C	°F
Tipo	Relación de Calor	°C	°F	°C	°F				
Aceros con Molibdeno de Alta Velocidad									
M1, M7, M10	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1175-1220	2150-2225(b)	2-5	O, A o S	540-595(c)	1000-1100(c)
M2	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1190-1230	2175-2250(b)	2-5	O, A o S	540-595(c)	1000-1100(c)
M3, M4, M30, M33, M34	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1205-1230(b)	2200-2250(b)	2-5	O, A o S	540-595(c)	1000-1100(c)
M6	Rápidamente del pre-calentamiento	790	1450	1175-1205(b)	2150-2200(b)	2-5	O, A o S	540-595(c)	1000-1100(c)
M36	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1200-1245(b)	2225-2275(b)	2-5	O, A o S	540-595(c)	1000-1100(c)
M41	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1190-1215(b)	2175-2220(b)	2-5	O, A o S	540-595(c)	1000-1100(d)
M42	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1190-1210(b)	2175-2210(b)	2-5	O, A o S	510-595(d)	950-1100(d)
M43	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1190-1215(b)	2175-2220(b)	2-5	O, A o S	510-595(d)	950-1100(d)
M44	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1200-1225(b)	2190-2240(b)	2-5	O, A o S	540-625(d)	1000-1160(d)
M46	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1190-1220(b)	2175-2225(b)	2-5	O, A o S	525-565(d)	975-1050(d)
M47	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1180-1205(b)	2150-2200(b)	2-5	O, A o S	525-595(d)	975-1100(d)
Aceros con Tungsteno de Alta Velocidad									
T1, T2, T4, T8	Rápidamente del pre-calentamiento	815-870	1500-1600	1260-1300(b)	2300-2375(b)	2-5	O, A o S	540-595(c)	1000-1100(c)
T5, T6	Rápidamente del pre-calentamiento	815-870	1500-1600	1275-1300(b)	2325-2375(b)	2-5	O, A o S	540-595(c)	1000-1100(c)
T15	Rápidamente del pre-calentamiento	815-870	1500-1600	1205-1260(b)	2200-2300(b)	2-5	O, A o S	540-650(d)	1000-1200(d)
Aceros con Cromo para Trabajo Caliente									
H10	Moderadamente del pre-calentamiento	815	1500	1010-1040	1850-1900	15-40(e)	A	540-650	1000-1200

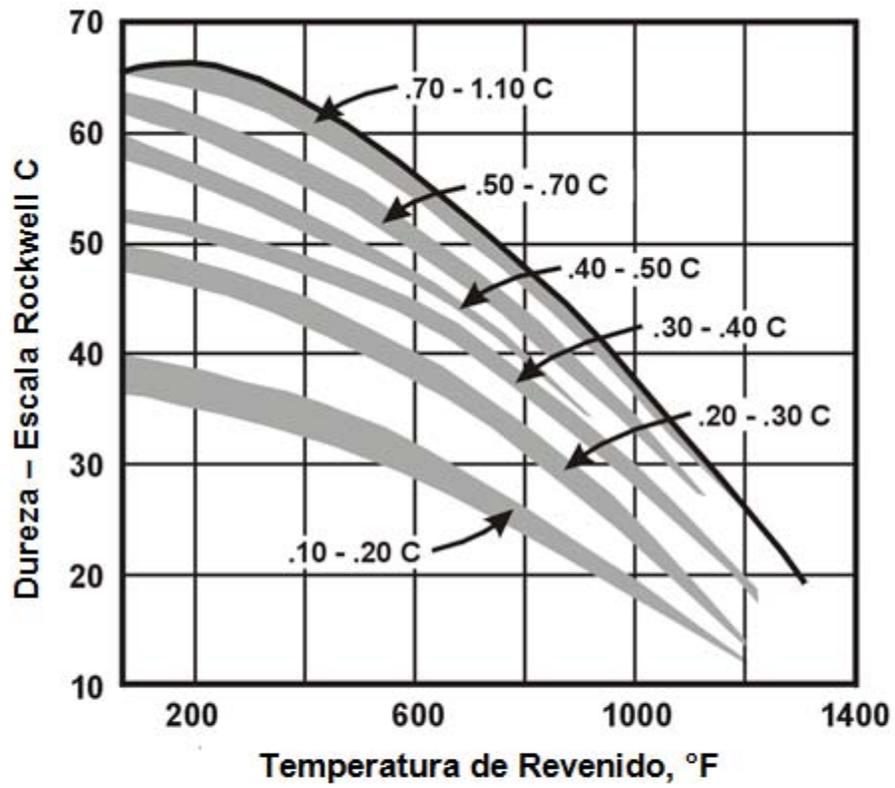
H11, H12	Moderadamente del pre-calentamiento	815	1500	995-1025	1825-1875	15-40(e)	A	540-650	1000-1200
H13	Moderadamente del pre-calentamiento	815	1500	995-1040	1825-1900	15-40(e)	A	540-650	1000-1200
H14	Moderadamente del pre-calentamiento	815	1500	1010-1065	1850-1950	15-40(e)	A	540-650	1000-1200
H19	Moderadamente del pre-calentamiento	815	1500	1095-1205	2000-2200	2-5	A o O	540-705	1000-1300
Aceros de Molibdeno para Trabajo Caliente									
H41, H43	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1095-1190	2000-2175	2-5	O, A o S	565-650	1050-1200
H42	Rápidamente del pre-calentamiento	730-845	1350-1550	1120-1220	2050-2225	2-5	O, A o S	565-650	1050-1200
Aceros con Tungsteno para Trabajo Caliente									
H21, H22	Rápidamente del pre-calentamiento	815	1500	1095-1205	2000-2200	2-5	A o O	595-675	1100-1250
H23	Rápidamente del pre-calentamiento	845	1550	1205-1260	2200-2300	2-5	O, A o S	650-815	1200-1500
H24	Rápidamente del pre-calentamiento	815	1500	1095-1230	2000-2250	2-5	O, A o S	565-650	1050-1200
H25	Rápidamente del pre-calentamiento	815	1500	1150-1260	2100-2300	2-5	A o O	565-675	1050-1250
H26	Rápidamente del pre-calentamiento	870	1600	1175-1260	2150-2300	2-5	O, A o S	565-675	1050-1250
Aceros de Aleación Media de Endurecimiento por Aire de Trabajo en Frío									
A2	Lentamente	790	1450	925-980	1700-1800	20-45	A	175-540	350-1000
A3	Lentamente	790	1450	955-980	1750-1800	25-60	A	175-540	350-1000
A4	Lentamente	675	1250	815-870	1500-1600	20-45	A	175-425	350-800
A6	Lentamente	650	1200	830-870	1525-1600	20-45	A	150-425	300-800
A7	Muy Lentamente	815	1500	955-980	1750-1800	30-60	A	150-540	300-1000
A8	Lentamente	790	1450	980-1010	1800-1850	20-45	A	175-595	350-1100
A9	Lentamente	790	1450	980-1025	1800-1875	20-45	A	510-620	950-1150
A10	Lentamente	650	1200	790-815	1450-1500	30-60	A	175-425	350-800
Aceros de Endurecimiento por Aceite de Trabajo en Frío									
O1	Lentamente	650	1200	790-815	1450-1500	10-30	O	175-260	350-500
O2	Lentamente	650	1200	760-800	1400-	5-20	O	175-260	350-500

					1475				
O6	Lentamente	-	-	790-815	1450-1500	10-30	O	175-315	350-600
O7	Lentamente	650	1200	790-830	1450-1525	10-30	O o W	175-290	350-550
				845-885	1550-1625				
Aceros Resistentes a Impacto									
S1	Lentamente	-	-	900-955	1650-1750	15-45	O	205-650	400-1200
S2	Lentamente	650(f)	1200(f)	845-900	1550-1650	5-20	B o W	175-425	350-800
S5	Lentamente	760	1400	870-925	1600-1700	5-20	O	175-425	350-800
S7	Lentamente	650-705	1200-1300	925-955	1700-1750	15-45	A o O	205-620	400-1150
Aceros para Moldes									
P2	-	900-925(g)	1650-1700(g)	830-845(h)	1525-1550(h)	15	O	175-260	350-500
P3	-	900-925(g)	1650-1700(g)	800-830(h)	1475-1525(h)	15	O	175-260	350-500
P4	-	900-925(g)	1775-1825(g)	970-995(h)	1775-1825(h)	15	A o O	175-480	350-900
P5	-	900-925(g)	1650-1700(g)	845-870(h)	1550-1600(h)	15	O o W	175-260	350-500
P6	-	900-925(g)	1650-1700(g)	790-815(h)	1450-1500(h)	15	A o O	175-230	350-450
P20	-	870-900(h)	1600-1650(h)	815-870	1500-1600	15	O	480-595(i)	900-1100(j)
P21(j)	Lentamente	No pre - calentar		705-730	1300-1350	60-180	A o O	510-550	950-1025
Aceros de Baja Aleación para Propósito Especial									
L2	Lentamente	-	-	W: 790-845	W: 1450-1550	10-30	O o W	175-540	350-1000
				O: 845-925	O: 1550-1700				
L3	Lentamente	-	-	W: 775-815	W: 1425-1500	10-30	O o W	175-315	350-600
				O: 815-870	O: 1500-1600				
L6	Lentamente	-	-	790-845	1450-1550	10-30	O	175-540	350-1000
Aceros con Carbono – Tungsteno para Propósito Especial									
F1, F2	Lentamente	650	1200	790-870	1450-1600	15	W o B	175-260	350-500
Aceros Endurecidos por Agua									
W1, W2,	Slowly	565-	1050-	760-815	1400-	10-30	B or W	175-345	350-650

W3		650(k)	1200(k)		1550				
Aceros Altos en Carbono y Altos en Cromo de Trabajo en Frío									
D1, D5	Very Slowly	815	1500	980-1025	1800-1875	15-45	A	205-540	400-1000
D3	Very Slowly	815	1500	925-980	1700-1800	15-45	O	205-540	400-1000
D4	Very Slowly	815	1500	970-1010	1775-1850	15-45	A	205-540	400-1000
D7	Very Slowly	815	1500	1010-1065	1850-1950	30-60	A	150-540	300-1000

- (a) O, Templado en Aceite; A, Enfriamiento en Aire; S, Templado en Baño de Sales; W, Templado en Agua; B, Solución en Cloruro de Sodio.
- (b) Cuando el calentamiento a altas temperaturas se lleve a cabo durante el Templado en Baño de Sales, el rango de temperaturas debe ser cerca de 15°C (25°F) menor que aquellos que se han indicado.
- (c) Se recomienda un doble revenido por no menos de 1 hora en dicha temperatura cada vez.
- (d) Se recomienda un triple revenido por no menos de 1 hora en dicha temperatura cada vez.
- (e) Aplican diferentes tiempos a un tratamiento térmico con un horno abierto. Para alcanzar un endurecimiento del paquete de piezas, una regla común es calentarlo 1.2 min/mm (30 min/pul.) de manera cruzada a través de éste.
- (f) Preferible para herramientas grandes para minimizar la descarburación.
- (g) Temperatura de Carburización.
- (h) Después de Carburización.
- (i) Dureza del recubrimiento carburizado.
- (j) P21 es un endurecimiento del acero mediante precipitación teniendo un tratamiento térmico que involucra tratamiento mediante solución y envejecimiento en lugar de endurecimiento y revenido.
- (k) Recomendado para herramientas grandes y herramientas con secciones intrínsecas.

Fuente: Manual ASM Vol. 4, página 716-717, tabla 3. <http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>



**El Efecto del Contenido de Carbono
en la Dureza del Acero con Carbono
Revenido**

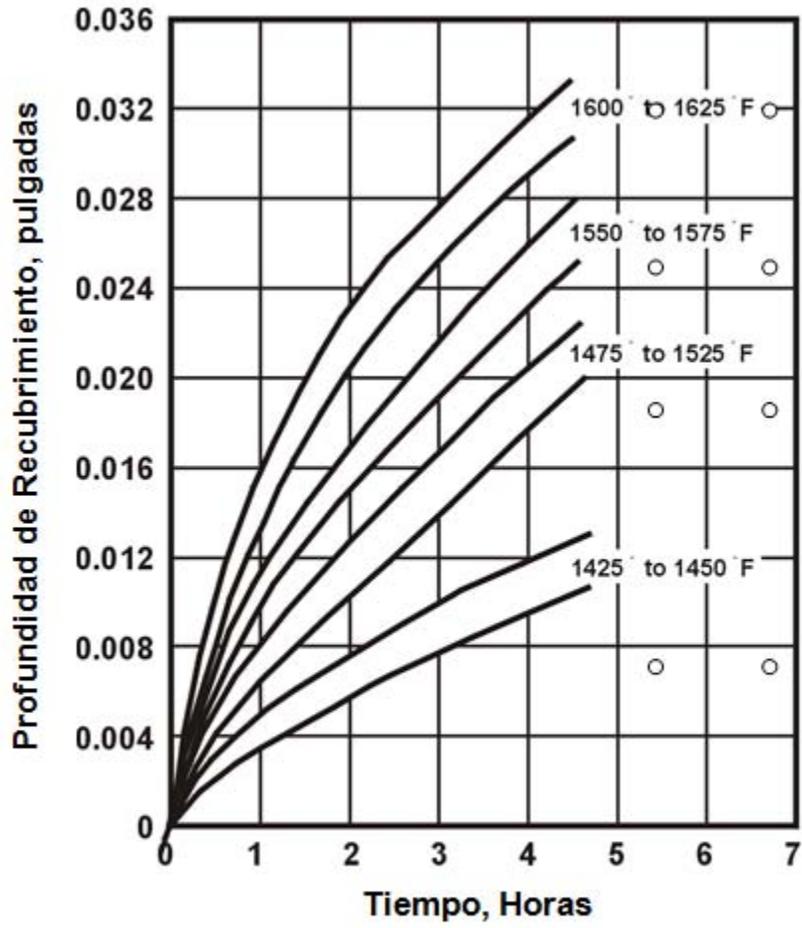
Re-impreso de Metals Engineering Institute "Heat
Treatment of Steel," 1957

TIEMPOS Y TEMPERATURAS DE CARBURIZADO

Tiempo en Horas	Temperatura, °F									
	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850
1	0.008	0.010	0.012	0.015	0.018	0.021	0.025	0.029	0.034	0.040
2	0.011	0.014	0.017	0.021	0.025	0.030	0.035	0.041	0.048	0.056
3	0.014	0.017	0.021	0.025	0.031	0.037	0.043	0.051	0.059	0.069
4	0.016	0.020	0.024	0.029	0.035	0.042	0.050	0.059	0.069	0.079
5	0.018	0.022	0.027	0.033	0.040	0.047	0.056	0.066	0.077	0.089
6	0.019	0.024	0.030	0.036	0.043	0.052	0.061	0.072	0.084	0.097
7	0.021	0.026	0.032	0.039	0.047	0.056	0.066	0.078	0.091	0.105
8	0.022	0.028	0.034	0.041	0.050	0.060	0.071	0.083	0.097	0.112
9	0.024	0.029	0.036	0.044	0.053	0.063	0.075	0.088	0.103	0.119
10	0.025	0.031	0.038	0.046	0.056	0.067	0.079	0.093	0.108	0.126
11	0.026	0.033	0.040	0.048	0.059	0.070	0.083	0.097	0.113	0.132
12	0.027	0.034	0.042	0.051	0.061	0.073	0.087	0.102	0.119	0.138
13	0.028	0.035	0.043	0.053	0.064	0.076	0.090	0.106	0.123	0.143
14	0.029	0.037	0.045	0.055	0.066	0.079	0.094	0.110	0.128	0.149
15	0.031	0.039	0.047	0.057	0.068	0.082	0.097	0.114	0.133	0.154
16	0.032	0.039	0.048	0.059	0.071	0.084	0.100	0.117	0.137	0.159
17	0.033	0.040	0.050	0.060	0.073	0.087	0.103	0.121	0.141	0.164
18	0.033	0.042	0.051	0.062	0.075	0.090	0.106	0.125	0.145	0.169
19	0.034	0.043	0.053	0.064	0.077	0.092	0.109	0.128	0.149	0.173
20	0.035	0.044	0.054	0.066	0.079	0.094	0.112	0.131	0.153	0.178
21	0.036	0.045	0.055	0.067	0.081	0.097	0.114	0.134	0.157	0.182
22	0.037	0.046	0.056	0.069	0.083	0.099	0.117	0.138	0.161	0.186
23	0.038	0.047	0.058	0.070	0.085	0.101	0.120	0.141	0.164	0.190
24	0.039	0.048	0.059	0.072	0.086	0.103	0.122	0.144	0.168	0.195
25	0.039	0.049	0.060	0.073	0.088	0.106	0.125	0.147	0.171	0.199
26	0.040	0.050	0.061	0.075	0.090	0.108	0.127	0.150	0.175	0.203
27	0.041	0.051	0.063	0.076	0.092	0.110	0.130	0.153	0.178	0.206
28	0.042	0.052	0.064	0.078	0.094	0.112	0.132	0.155	0.181	0.210
29	0.042	0.053	0.065	0.079	0.095	0.114	0.134	0.158	0.185	0.214
30	0.043	0.054	0.066	0.080	0.097	0.116	0.137	0.161	0.188	0.217

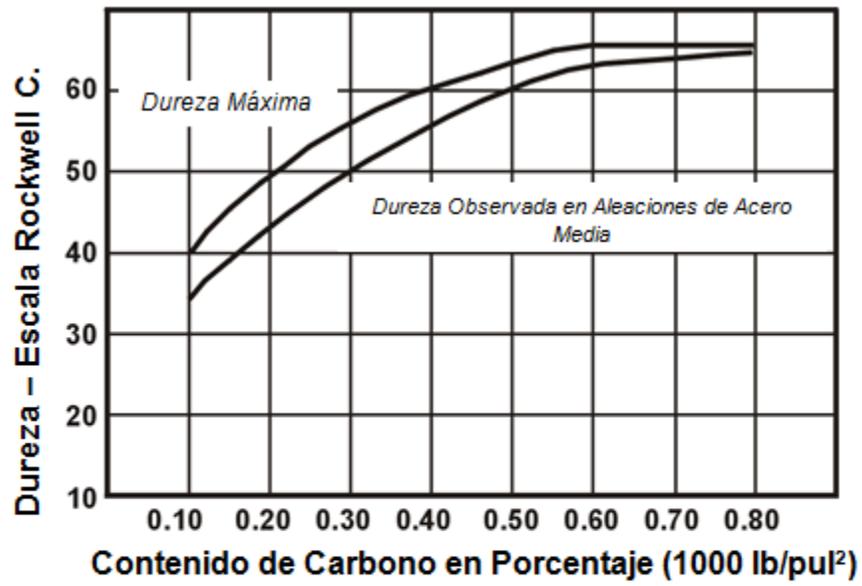
Por ejemplo: 4320 carburizado a una temperatura de 1700°F por 11 horas podría obtener “profundidad de recubrimiento” de 0.083 pulgadas. Sí se especifican 0.100 pulgadas entonces se necesitarán 16 horas.
Fuente: Metal Progress, August 1943.

GRÁFICOS DE CARBONITRURADOS



Cortesía de Armour Ammonia Division
Armour and Company

DUREZA VERSUS CONTENIDO DE CARBONO



**La dureza de martensita (sin revenir)
como una función del contenido de
carbono.**

Cortesía de The United States Steel Corporation

Capítulo 5 - Tratamientos Térmicos al Vacío

INTRODUCCIÓN

El desarrollo comercial de los equipos de hornos de vacío para la industria se inició en los 1950's. Los procesos metalúrgicos tales como el recocido, templado, sinterizado, revenido, brazing y uniones por difusión pueden realizarse al vacío. El vacío también puede usarse para purgar una cámara antes de introducirle una atmósfera controlada. Conforme se van descubriendo nuevas aplicaciones para tratamientos térmicos al vacío, el mercado para equipos continúa expandiéndose.

Cualquier sustancia expuesta a la atmósfera desechará y absorberá moléculas del aire, polvo microscópico, agua, y vapores químicos y bacterias. A lo largo del tiempo, este material reaccionará químicamente con la sustancia del cuerpo principal para producir óxidos, nitruros o recubrimientos orgánicos complejos, que pueden ser indeseados y se les considera contaminantes o impuros. El proceso térmico en un equipo de tratamiento térmico bajo oxidación o de atmósfera reductora elimina o cambia estos contaminantes mediante una reacción química. La reducción de los óxidos con hidrógeno y la formación resultante de vapor de agua es un buen ejemplo.

Un diferencia primaria en esta reducción de óxido y la diferencia entre esta reducción y la que sucede en el tratamiento térmico al vacío entre un tratamiento térmico convencional (atmósfera protectora) es la clase de reacción que toma lugar. Aquí, las presiones de disociación de los componentes gobiernan, en lugar de la relación de reacciones químicas entre elementos y atmósferas de gas. Estos conceptos no son más difíciles que las reacciones químicas de atmósferas preparadas, pero son quizás un poco menos familiares. Muchos de los óxidos comunes que están presentes se rompen espontáneamente por disociación al vacío, a temperaturas moderadas sin el uso de un agente reductor.

Este efecto de procesado al vacío puede compararse a procesar en un horno de atmósfera a un contenido específico de humedad o punto de rocío. El punto de rocío contra el nivel de vacío no es una comparación verdadera del ambiente, pero es útil para comparar los procesos, particularmente aquellos que requieren hidrógeno seco para un recocido brillante, endurecimiento y brazing de aceros inoxidable. Si un proceso requiere -100°F de punto de rocío de hidrógeno, un nivel de vacío de 1×10^{-3} Torr puede ser suficiente para dar una superficie brillante. La habilidad de limpieza y protección dada por el vacío sin el requerimiento de gases costosos o de gases de procesos de combustión lo hacen atractivo.

El equipo de vacío es generalmente frío, limpio, silencioso, y eficiente. El proceso de vacío es flexible, adaptable, confiable y económico; así como amigable con el medio ambiente.

Grados de Vacío

Los grados de nivel de vacío se expresan como opuestos a los niveles de presión absoluta. Así, un alto vacío significa una presión baja. En el uso común, los niveles mostrados en la TABLA I corresponden a las recomendaciones del Comité de los estándares de la A.V.S.

GRADOS DE VACÍO		
Vacío Bajo o Burdo		Atmósfera -1 Torr
Vacío Medio o Fino	-	1 Torr - 10^{-3} Torr
Alto Vacío	-	10^{-3} Torr - 10^{-6} Torr
Vacío muy alto	-	10^{-6} Torr - 10^{-9} Torr
Vacío Ultra alto	-	10^{-9} Torr y debajo

TECNOLOGÍA DE TEMPLADO POR GAS

Los avances en la tecnología de templado por gas y sus equipos han sido hechos para dirigirse al creciente número de partes y materiales que requieren tratamientos térmicos al vacío. Los tratamientos de solución o austenizado para herramientas de acero, aceros de aleaciones templadas en aceite y aleaciones en base de Ni - y - Co – han sido tradicionalmente procesadas en sales fundidas y aceites de templado. Estos procesos tradicionales, en adición al potencial de problemas de agrietamiento y distorsión requieren de una limpieza post tratamiento. SECO/WARWICK ha desarrollado una familia de hornos de templado de alta presión que combinan el calor por convección y el templado de alta presión a presiones de hasta 20 bar llenando el área de enfriamiento entre el el templado atmosférico de gas y aceite. Hay tres variedades comerciales de hornos de templado de gas al vacío aplicables, dependiendo de la aleación de acero y la sección transversal de las partes del proceso: 2 bar, 6 bar y 10/20 bar.

Aplicaciones de Hornos para 6, 10 y 20 atmósferas

6 Bar N₂ - *Carga empacada no densa*

$\lambda = 1.0 - 3.0$ para secciones transversales apropiadas en un rango de 1" (25 mm) – 4" (100 mm)

- Aceros de Alta Velocidad (p.e. M2 [AISI] hasta una sección transversal 3" (70 mm) – 4" (100 mm)
- Aceros de aleación para herramientas de trabajo en caliente (H11/H13 [AISI] etc.)
- Aceros de aleación para herramientas de trabajo en frío (1.2080 [DIN] a 80 mm/100 mm)
- Aceros aleados templados en aceite, aceros de sección transversal pequeña (p.e. 1.2842 [DIN] – secciones transversales hasta 25 mm/40 mm; 1.2550, de acuerdo a DIN a 20 mm)
- Aceros Inoxidables Martensíticos de secciones transversales limitadas
- Solución de tratamiento térmico para aceros de tipo austenítico 18/8

10 Bar N₂ - *Carga empacada densamente*

$\lambda = 8.0 - 2.0$ para secciones transversales apropiadas en un rango de 1" (25 mm) – 4" (100 mm)
(densidad de carga 30/40% mayor comparada a 6 bar)

- Aceros de altas velocidades – sin restricciones en la sección transversal y en densidad de cargas
- Aleación alta, media y baja para herramientas de trabajo en caliente.
- Aceros de aleación alta y media de estructuras de secciones transversales limitadas (p.e. O1, O2, O6, O7, 4140, 4340 de acuerdo a AISI y otros aceros para robustecimiento: también después de carburizado iónico de 1.4140 [AISI])

20 Bar He - He/N₂ - *Carga empacada densamente y en forma apretada*

$\lambda = 0.4 - 1.0$ para secciones transversales apropiadas en un rango de 1" (25 mm) – 4" (100 mm)
(densidad de carga 80/150% más alta que de 6 bar)

- Aceros de alta velocidad
- Aleación alta, media y baja para aceros para trabajos de herramientas en caliente
- Aleación alta, media y baja para aceros para trabajos de herramientas en frío
- Aceros de aleación templados en aceite para aceros robustos, incluyendo templado después de carburizado iónico y nitro-carburizado

El parámetro λ define el tiempo para la temperatura en el centro de la carga a caer de 800° C a 500° C. Al conocer λ para distintas condiciones de templados, es posible usar un diagrama TTT para predecir la dureza en el centro de la carga. La tabla I muestra la dureza de varios aceros aleados en relación a diferentes presiones de gas en el templado.

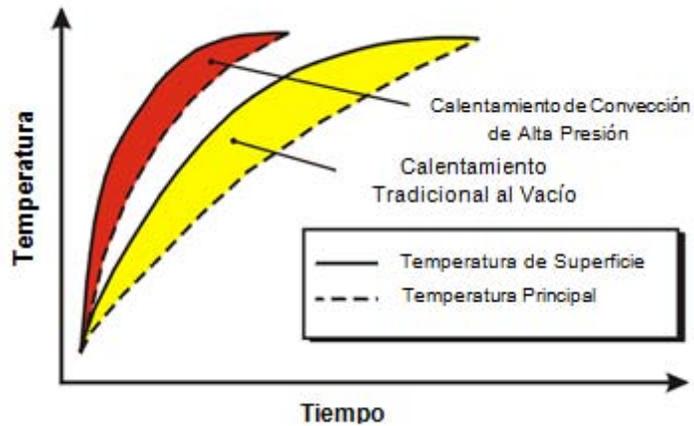
TABLA I - DUREZA DE VARIAS ALEACIONES DE ACERO EN HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE TEMPLADO AL VACÍO PARA 6, 10 Y 20 ATMÓSFERAS

Material	Enfriamiento a 6/10/20 atmósferas										Dureza Rockwell C.	
	6 Atm.			10 Atm.			20 Atm.					
1.2721- (similar a L6)	✓	✓	✓	✓	✓	✓						59
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2767- 6F7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	56
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2510 01	✓	✓	✓	✓	✓	✓						64
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2550 S1	✓	✓	✓	✓	✓	✓						60
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2842 02	✓	✓	✓	✓	✓	✓						63
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2363 A2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	63
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2080 D3	✓	✓	✓	✓	✓	✓						64
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2436 (similar a L6)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	65
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2379 D2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	63
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
1.2713 L6	✓	✓	✓	✓	✓	✓						56
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

1.2714 (similar a L6)												57
1.2343 H11 1.2344 H13												54
1.2365 H10												50
1.2083 420												56
1.2316 (similar a 422)												50
1.3343 M2												66
Espesor (mm)	20 3/4	40 1 1/2	60 2 1/4	80 3	100 4	120 4 3/4	140 5 1/2	160 6 1/4	180 7	200 7 3/4		
(in)												

CONVECCIÓN DE CALOR

La transferencia del calor en vacío toma lugar mediante radiación; sin embargo, se transfiere eficientemente sólo a la temperatura superior a 1400°F. A fin de calentar en forma uniforme y rápida en la temperatura inferior, se usa gas internamente para la transferencia del calor por convección.

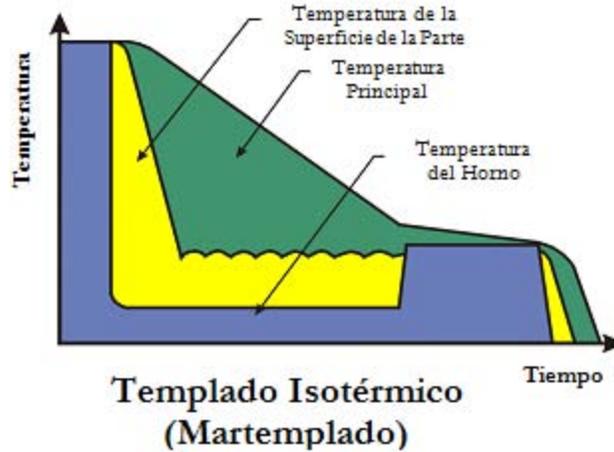


Para la uniformidad y rapidez del calor por convección, la zona caliente debe aislarse térmicamente. El calor por convección elimina en forma efectiva los esfuerzos que están presentes en las partes calientes. Los esfuerzos en las partes son causados al maquinarse o por una calidad pobre del acero antes del tratamiento térmico. El calor por convección es un pre-requisito para una distorsión baja durante el ciclo de calentamiento. Las ventajas del calor por convección son:

- Calentamiento uniforme y poca distorsión de las partes
- Ciclos de calentamiento más bajos para endurecimiento y revenido. El ciclo puede ser 50% más corto con calentamiento por convección que el comparado a revenidos con un horno convencional de vacío
- Una uniformidad mayor en un rango de temperatura bajo
- Mayor capacidad de carga dentro del horno
- El revenido y recocidos en el mismo horno y un mayor uso del horno

Templado Isotérmico – Martemplado

El horno y el sistema de control están diseñados para realizar un templado isotérmico automático (marquenching). La intensidad del templado de alta presión lleva a la posibilidad de agrietamiento de las partes y distorsión. Los problemas se generan principalmente en partes con secciones transversales anchas. Un ciclo de enfriamiento controlado da como resultado una microestructura mejor después del endurecimiento; para ciertas cargas, reduce el número de ciclos de revenidos hasta uno sólo. La mejor microestructura influye la durabilidad del proceso en aceros de herramientas, en particular para dados de trabajo en caliente. Por ejemplo, el Endurecimiento Isotérmico de dados de 450 x 450 x 80 mm de H-13 lleva a una dureza de 57 HRC después de un revenido a 550°C, en donde la máxima dureza lograda sin un ciclo de templado isotérmico con enfriamiento constante y revenido a 550°C sólo era de 54 HRC.⁶



Al final del tiempo de austenizado, el enfriamiento se inicia con una presión máxima y una circulación máxima de gas. Uno de los termocoples se localiza en la superficie de la parte y el otro en el corazón de la parte. Conforme la temperatura de la superficie de la parte se aproxima a la temperatura del templado marquenching (Ms), se reduce la presión de templado. La velocidad de circulación del gas es reducida a un rango menor para permitir la igualación entre las temperaturas de la superficie y del corazón. Se mantiene una temperatura de la superficie estable con un ventilador de gas de velocidad controlada mediante un motor inversor. A fin de lograr una igualación gradual entre el corazón y la superficie de la parte, el ventilador de convección puede prenderse. El calor de convección previene que la temperatura de la superficie caiga debajo de la temperatura de templado marquenching (Ms). Como resultado, no se forma ninguna martensita en la superficie o dentro de la parte hasta que las temperaturas de la superficie y del corazón se igualan.

Finalmente, cuando la temperatura de la superficie y el corazón de la parte alcanzan una diferencia preprogramada; el ΔT de la carga completa es enfriada adicionalmente hasta la temperatura de descarga.

Considerando las corrientes de los costos hacia arriba y hacia abajo, el carburizado al vacío da una reducción total de los costos de proceso y encaja naturalmente en una celda de fabricación esbelta.

Hay un interés creciente en los hornos para carburizado al vacío debido a la demanda de productos con la mayor calidad metalúrgica total y costo unitario más bajo. La tecnología de carburizado al vacío produce trabajos con distorsión mínima, debido al resultado directo de enfriar las partes con gas. La superficie metalúrgica es superior debido a que el proceso de carburización se realiza en un ambiente de vacío. Los sistemas de hornos de vacío dan “frío a frío” (trabajo frío entrando, trabajo frío saliendo) y una operación totalmente automática que reduce la cantidad de involucramiento del operador, minimizando así los costos de mano de obra.

La tecnología de hornos al vacío es un proceso de manufactura “verde” sin ningún impacto negativo al medio ambiente.

Esta tecnología difiere considerablemente de la tradicional de gas carburizante tanto en el equipo usado como en la economía del proceso. Esto presenta también los aspectos de la tecnología de carburizado al vacío que tienen un impacto en los costos del proceso y las mejoras de calidad en el producto final.

El carburizado al vacío es considerablemente más rápido que el carburizado con gas

El carburizado al vacío se caracteriza por un coeficiente extraordinariamente elevado de transferencia de carbono en la fase de interfase, lo que resulta en una transferencia de carbono elevado. En la fase inicial de carburizado, por ejemplo, a una temperatura de 1740°F (950°C), la corriente de carbono dirigida en la superficie de carga alcanza la relación de 250 g/m²h. Esto significa que en el caso de capas delgadas de carburización, el proceso es considerablemente más rápido que el proceso de carburizado por gas. La ventaja es más pequeña en el caso de capas gruesas que exceden por ejemplo, .00315 pulgadas (0.8 mm), en donde la transferencia de carbono es mucho más dependiente del coeficiente de difusión (DC).

El proceso de carburización al vacío puede llevarse a cabo aún a temperaturas de hasta 1900°F (1050°C), dentro del rango de temperatura natural de un horno de vacío. La temperatura de proceso aumenta a 1700-1800°F (950-980°C), comparada con el proceso de carburizado tradicional de gas que opera típicamente dentro de un rango de temperatura de 1600-1700°F (880-930°C). Operar a temperaturas mayores da como resultado ciclos de carburizado menores debido al aumento considerable del coeficiente de difusión (DC). Tanto la cantidad aumentada de carbono en la atmósfera de carburizado, como una difusión más rápida (Dc) son responsables del aumento en la eficiencia de carburizado al compararse con el carburizado tradicional de gas.

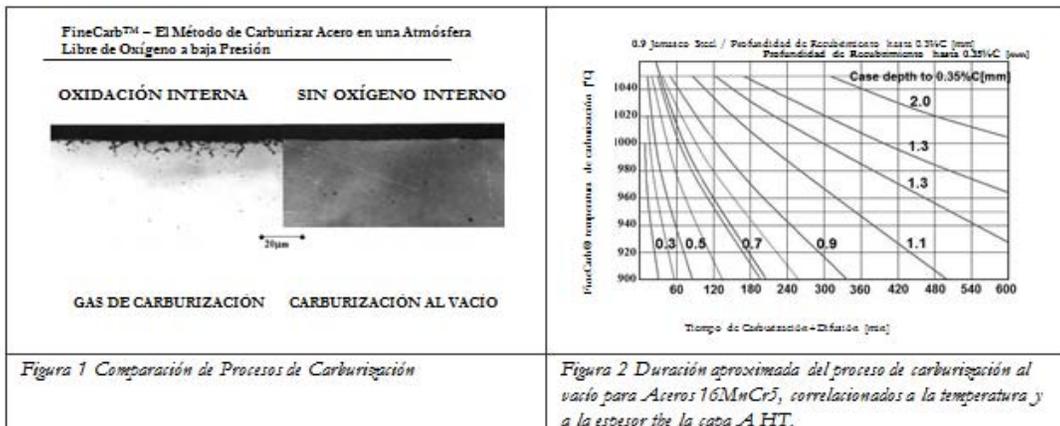
Reducción del tiempo de proceso y los factores de energía relacionados

La tecnología de carburizado al vacío difiere considerablemente del carburizado por gas en el método de entrega de la corriente de carbono a la superficie de carga, regulación de proceso y al acabado del ciclo completo. Se encuentran más diferencias en la construcción de hornos, que resultan del calor y del tratamiento térmico y del consumo de energía y por lo tanto, de los costos de proceso. La nueva tecnología reduce y/o elimina consistentemente deformaciones, elimina oxidación interna y reduce la emisión de gases de escape a la atmósfera.

Se cree comúnmente que el acortar el período del ciclo de acuerdo a este método, reducirá el costo del proceso. Pero, la reducción de la duración del proceso es mayor para la misma temperatura, en el caso de capas delgadas carburizadas más que en el de capas gruesas, en donde el impacto del coeficiente de difusión es dominante. Para capas delgadas, especialmente aquellas fabricadas a altas temperaturas en los aceros de grado con una capacidad de templeado mayor, los ciclos de vacío serán muy competitivos comparados a los de carburizado por gas. Los ejemplos de implementación abajo, ilustran la eficiencia del carburizado al vacío.

El método de carburizado al vacío permite la fabricación de una capa de carburizado uniforme a producirse fácilmente en las aperturas de un diámetro pequeño, de profundidad considerable y sin oxidación interna.

Un buen ejemplo de esto se encuentra en elementos de inyectores diesel hechos de EN32B, 18CrNiMo7-6 (17HNM). El ciclo de carburizado al vacío, operando generalmente en un rango de temperatura de 1540-1690°F (840-920oC), requiere 11 minutos de carburizado para .01969 pulgs (0.5 mm) de capa y 120 minutos de difusión. Un ciclo similar realizado en un horno de atmósfera requirió llevar el proceso a un rango de temperatura de 1540-1560°F (840-850oC) y tomó tres veces para obtener una calidad comparable. El impacto conspicuo de ninguna oxidación interna se muestra en la (fig. 1).



Se condujo una comparación de carburizado de gas y un carburizado al vacío FineCarb® para demostrar las diferencias en el ciclo del proceso para materiales de carburizado típicos.

Las pruebas fueron llevadas a cabo para una carga neta de 770 libras (350 kg), consistentes de aceros 16MnCr5 y 15CrNi6. Las pruebas de acero 16MnCr5 fueron realizadas en un horno de templado Casemaster® integral con una capacidad de carga de 24 pul x 24 pul x 36 pul y una cámara doble SECO/WARWICK NVPT de 24 pul x 24 pul x 36 pul (600mm x 600mm x 900 mm), mientras que las pruebas de acero 15CrNi6 fueron hechas en el mismo horno Casemaster IQ, de vacío y en una sola cámara SECO/WARWICK VPT 4035/36. La comparación se realizó para dos capas de valores de espesores: .02362 y .04724 pul (0.6 y 1.2mm). El proceso de carburizado por gas se realiza generalmente a temperaturas de hasta 1690-1700°F (920-930°C), mientras que el proceso de carburizado al vacío se lleva a cabo normalmente a temperaturas de hasta 1760-1800°F (960-980°C). Por lo tanto, la comparación se efectuó para las temperaturas de 1690°F (920°C) y 1760°F (960°C), respectivamente. Adicionalmente, el tiempo de calentamiento a la temperatura de carburización para una carga dada se supone de 50 minutos y el tiempo de quemado después de enfriado para el templado es supuesto de 30 minutos. Los resultados se presentan en las siguientes tablas.

Acero 16MnCr5 (16HG)

EHT[mm]	Ciclo Atal [minutos]	(N+D) ciclo [minutos]
Carburizado de Gas		
0.6	315	176
1.2	660	520
Carburizado al Vacío FineCarb		
0.6	210	63 (carburizado: 13 minutos)
1.2	525	380 (carburizado: 27 minutos)

Acero 15CrNi6 (15HN)

EHT	Ciclo Atal	(N+D) ciclo
Carburizado de Gas		
0.6mm	250	109
1.2mm	495	352
Carburizado al Vacío FineCarb		
0.6mm	220	50 (carburización: 9 minutos)
1.2mm	450	280(carburización: 19 minutos)

Los resultados anteriores confirman la eficiencia aclamada, especialmente en el caso de capas delgadas que usan en estimados de ciclos tiempos generales para el proceso FineCarb – a un rango elevado de temperatura, fácil de obtener en un horno de vacío – para acero 16MnCr5 y los valores más comunes de espesores de capas.

La competitividad económica del proceso (excluyendo el costo de instalación) es una cuestión separada. Estos ciclos de tiempo tienen un impacto considerable en el consumo de los factores relacionados de energía. Mientras que sí no tomamos en cuenta la lista de los componentes del proceso (por ejemplo, el tiempo de paro, el tiempo de mantener el horno durante los fines de semana, etc.), el consumo de energía para una carga 15CrNi6 y 0.6 mm y capas de 1.2 mm se presenta abajo.

Carburizado de Gas	FineCarb vacuum carburizing
0.6 mm: 200 kWh, que incluye carga de calor - 65kWh	0.6 mm: 180 kWh, que incluye carga de calor - 65kWh
1.2mm: 290 kWh	1.2 mm: 315kWh

La tabla como muestra el método de carburizado al vacío es más competitivo en el caso de capas delgadas, mientras que el carburizado con gas es ligeramente más redituable en el caso de capas gruesas, lo cuál es debido a una mayor cantidad de pérdida de calor del aislamiento de la cámara de calentamiento en un horno de vacío. El carburizado al vacío es más competitivo al compararlo en cuánto al consumo de la atmósfera del proceso. Se presenta abajo el consumo de atmósfera tanto para capas de 0.6mm y 1.2 mm.

Carburizado de Gas	Carburizado al Vacío FineCarb
Tiempo de alimentación aprox. 4.5 h – Consumo de atmósfera Endo 35 Nm3 (1,236 ft3) por ciclo	Tiempo de alimentación aprox. 9 minutos – consumo de gas (etileno/acetileno/hidrógeno) – 0.45 Nm3 (15 ft3) por ciclo
Tiempo de alimentación approx. 8.5h - 65Nm3 (2,295 ft3)	Tiempo de alimentación: 19 minutos – 0.95Nm3 (33.5 ft3)

La emisión de gas del post-proceso es considerablemente más baja en la tecnología de carburizado al vacío, específicamente el CO tóxico y el CO₂. La tecnología de carburizado al vacío también involucra el consumo de gas enfriado usado en el ciclo de templado por gas (el costo es de alrededor de 0.4 PLN/Nm³ x el volumen de la cámara de enfriamiento x la presión del proceso). En el caso del acero endurecido 15CrNi6 en el horno VPT 4035/36 a la presión de 10 bars, el costo del Nitrógeno usado es alrededor de \$6.30 (€5.30) por ciclo (Precios basados en el 4to trimestre de los costos en Europa Oriental año 2005). Si se usan módulos de hornos y la demanda para el enfriamiento de gas es mucho más alta, se puede designar un sistema de reciclado para mejorar la eficiencia al 98%, que reduce los costos en forma adicional.

Estas pruebas fueron realizadas en un horno de carburizado al vacío actualizado con la última tecnología en mediciones. Estas modificaciones permiten que la composición química de los gases de salida sea registrada constantemente en la corrida. Conforme las proporciones de alimentación de atmósfera fueron conocidas, fue posible determinar las direcciones más probables de las reacciones químicas que ocurrieron durante el proceso y así determinar su cinética.

DESARROLLO DEL PROCESO DE CARBURIZADO, PRE-NITRURADO AL VACÍO EN BAJA PRESIÓN

Pre-nitrurado para carburizado a baja presión, PreNitLPC®, expande a la FineCarb® LPC a la familia de aplicaciones de Tecnología de Carburizado al Vacío para incluir temperaturas mayores de carburizado y un rango mayor de grados de acero.

La tecnología de carburizado a baja presión se usa comúnmente en muchas industrias, reemplazando con éxito a muchas tecnologías tradicionales. Un nuevo acercamiento es la adición del nitrógeno junto con carbono en la superficie de la capa. Esto lleva a la mejoría de las propiedades funcionales de la capa y sus efectos económicos.

El pre-nitrurado para carburizado a baja presión, PreNitLPC®, expande a la familia de aplicaciones de Tecnología de Carburizado al Vacío FineCarb® LPC para incluir mayores temperaturas de carburizado y un mayor rango de grados de aceros. Esta tecnología ha sido desarrollada en el Instituto de Materiales & Ciencias de Ingeniería en la Universidad Técnica de Lodz (Poland) en conjunto con SECO/WARWICK S.A. y está actualmente en uso comercial.

Técnicamente, el proceso se basa en dosificar gas amoníaco en la cámara de vacío del horno durante la rampa del calentamiento de la carga a un intervalo de temperatura desde 400°C hasta 700°C. Como resultado, las capas carburizadas realizadas a las temperaturas máximas no demuestran ningún crecimiento de los granos. Debido a la mayor temperatura del proceso, (aún a 1100°C), se puede correr por un tiempo corto sin ningún impacto negativo en la microestructura ni sus propiedades mecánicas.

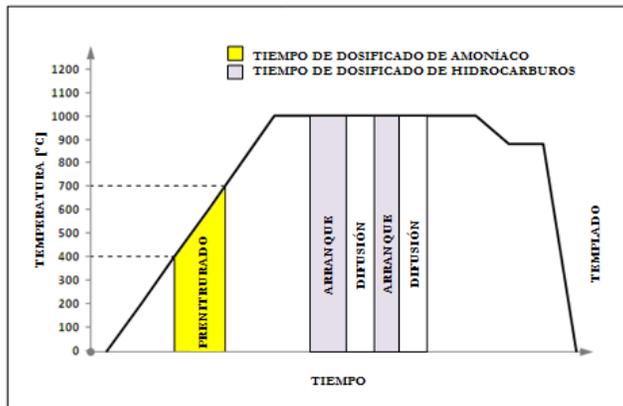


Fig. 1 Diagrama de Flujo de Proceso de acuerdo a tecnología PreNitLPC®.

El PreNitLPC® es una opción moderna, rápida y económica para carburizado a baja presión, la cuál mejora significativamente la eficiencia del proceso.

Realización

Se realizaron una serie de procesos a temperaturas distintas a fin de comparar la estructura y las propiedades de las capas creadas por el carburizado estándar a baja presión – LPC y el carburizado a baja presión asistido por las tecnologías de un pre-nitrurado – PreNitLPC®. En adición, el proceso convencional fue ejecutado a fin de comparar ambos métodos.

Los dos tipos de aceros fueron carburizados, el 16MnCr5 (5115 de acuerdo a AISI) y el 17CrNi6-6 (1.5918 de acuerdo a DIN).

Tipo de Método de Carburización	Convencional	LPC	PreNitLPC®		
Temperatura de Proceso	920[°C]	920[°C]	950[°C]	980[°C]	1000[°C]
Profundidad de Recubrimiento (criterio 0,4% C)	0,6 [mm]				
Concentración de Superficie	0,8[%C]				

Tabla 1. Condiciones del proceso de carburizado

Se dosificaron un gas amoniaco y la atmósfera de carburizado a la cámara del horno, de acuerdo a los procedimientos descritos en la patente [4] y la patente [5], respectivamente. Los parámetros del proceso se muestran en la Tabla 1.

Resultados

Reducción del tiempo de Carburizado.

A mayor temperatura de carburizado, mayor el coeficiente de difusión del carbono (dependencia exponencial), resultando en una reducción significativa del tiempo de proceso. Los resultados para condiciones diferentes se ilustran en la Tabla 2 y en la Figura 1.

Tipo de Médo de Carburización	Convencional	LPC	PreNitLPC®		
Profundidad de Recubrimiento (criterio 0,4% C)	0,6 [mm]				
Temperatura	920[°C]	920[°C]	950[°C]	980[°C]	1000[°C]
Tiempo de arranque de carburización	167min	23min	17min	13min	11min
Tiempo de Difusión		1h 52min	1h 24min	58min	43min
Tiempo Atal	2h 47min	2h 15min	1h 41min	1h 11min	54 min

Tabla 2. Tiempos de Procesos obtenidos para distintas condiciones de carburizados.

El tiempo total más corto de procesos atal se obtuvo para el proceso de carburizado con pre-nitrurado, la temperatura más elevada de 1000°C. El recubrimiento de 0.6 mm fue creado sólo después de 54 min de tratamiento. Tal tiempo tan corto es hasta un 68% menor que el obtenido de acuerdo al carburizado convencional y hasta un 60% más corto en comparación al LPC a 920°C (Fig. 2).

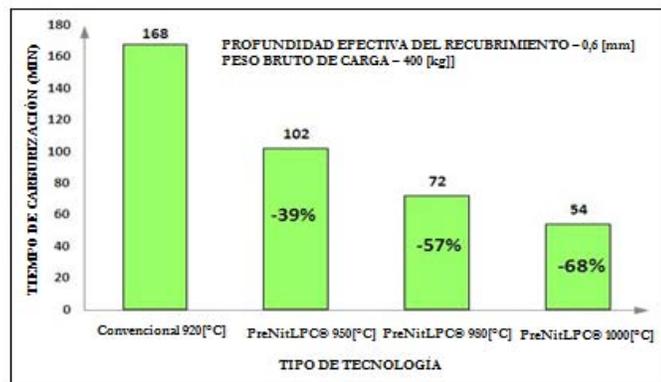


Fig. 2 La comparación del tiempo total del proceso para diferentes tipos de tratamiento.

Microestructura

Se muestra la estructura de capas creadas en diferentes procesos de carburizado y tamaño de grano de austenita en la figura 3. Como se muestra, el tamaño de grano es significativamente menor en donde se usó el PreNitLPC®.

Adicionalmente, el tamaño era aún más pequeño cuando el proceso se corrió a 1000°C, en comparación al de carburizado a 920°C sin la opción de prenitruado.

La influencia de la temperatura en el tamaño del grano del corazón fue

también establecida. Como se predijo, el diámetro del grano del corazón fue más grande, a la temperatura de proceso de 1000 °C en el PreNitLPC®, que en aquellas temperaturas realizadas de acuerdo a LPC a 920°C, e igual a 19.2 μm (No 8,1 de acuerdo a ASTM) y 12.2 μm (No 9,4 de acuerdo a ASTM), respectivamente para el acero 16MnCr5. Este fue el resultado de la presencia de nitrógeno solo en la superficie de la capa, que fue añadida en la fase de calentamiento.

Para resumir, la opción de pre-nitrurado redujo el tiempo del proceso total cuando la temperatura es más alta, mientras que el crecimiento del grano en la superficie de la capa es eliminado.

La combinación de granos aún más finos, dureza, resistencia al desgaste y un corazón relativamente flexible ha permitido obtener un resultado muy satisfactorio en sus propiedades mecánicas y en sus propiedades tribológicas en las partes tratadas.

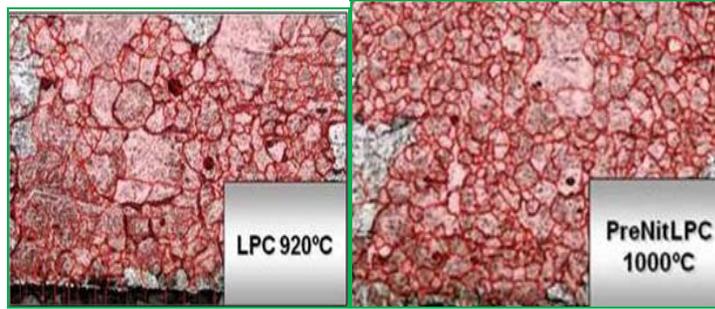


Fig.3 Capa de la Superficie de 16MnCr5 dependiendo de la tecnología aplicada:

- LPC, Carburización a Baja Presión a,
- PreNitLPC®, pre – Nitrurado con carburización de baja presión a 1000°C.

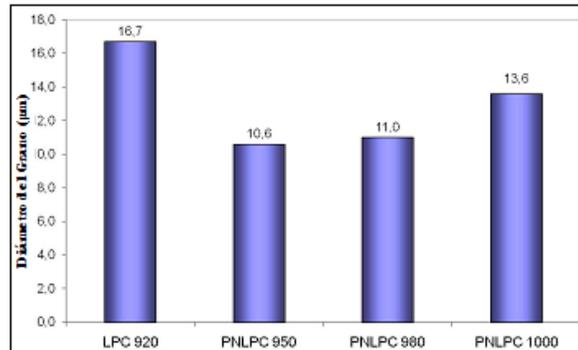


Fig. 4 Comparación del tamaño del grano de la superficie de acero 16MnCr5 para diferentes tipos de tratamiento.

Propiedades de Resistencia

Era crucial determinar las propiedades mecánicas de las capas obtenidas a fin de establecer el potencial de aplicaciones de la tecnología PreNitLPC® en comparación a otro método de carburización.

Parece que el perfil de la dureza en la superficie de la capa del acero 16MnCr5 era comparable a los resultados de la tecnología LPC.

Se midió la resistencia a la fatiga para el doblez. Las curvas calculadas de Wöhler's dentro de rangos límite y sin límite de resistencia a la fatiga para los procesos LPC 920°C y PreNitLPC® 1000°C se muestran en la figura 5.

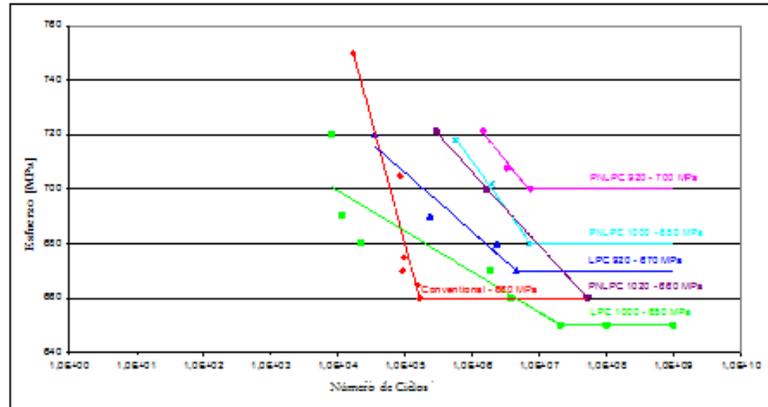


Fig. 5 Las curvas de Wöhler's curves dentro de las relaciones limitadas e ilimitadas resistencia de fatiga de diferentes tipos de tratamiento para el acero 17CrNi6-6.

Parecía que la resistencia a la fatiga para el doblez era mayor después del tratamiento PreNitLPC® para el acero 17CrNi6-6.

La resistencia a la fatiga para pitting se determina también de acuerdo al estándar Británico IP 300/82. Sin importar que método de carburizado se había aplicado, los resultados fueron comparables en el caso del acero 16MnCr5 y el valor promedio estaba en el rango de $1,46 - 1,61 \times 10+6$ ciclos.

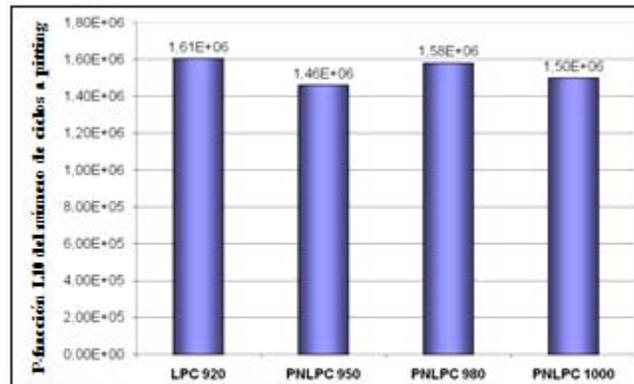


Fig. 6 Resistencia a la Fatiga para pitting para acero 16MnCr5 dependiendo de la tecnología aplicada.

Adicionalmente, las pruebas de resistencia al impacto por fractura fueron realizadas en muestras de tamaño 10x10x55 mm con una muestra de forma en U. Las muestras del tratamiento termoquímico han sido probadas de acuerdo a las pruebas de Charpy y los resultados se muestran en la figura 7.

Todas las medidas excedieron el valor de 150 J/cm² de resistencia al impacto. Aquellas realizadas de acuerdo a PreNitLPC® son aún mayores y aumentan dentro de la elevación de la temperatura desde 155 J/cm² a 920oC hasta 168 J/cm² en 1020oC.

Sin embargo, las diferencias no son significativas y son casi comparables para todos para todos los Métodos.

Resumen

Las capas, que se produjeron usando el proceso PreNitLPC® a mayores temperaturas durante la fase de pre-nitrurado, demuestran que las propiedades de resistencia son similares al trabajar que aquellas que han sido carburizadas en forma convencional a temperaturas más bajas.

Esta tecnología da ahorros en los costos del proceso al reducir el tiempo ciclo de carburizado y reducir el consumo de gases del proceso (C₂H₂, C₂H₄, H₂, NH₃) medidos en litros y no medidos, como en el caso de tecnologías convencionales, en metros cúbicos por hora.

El proceso PreNitLPC®, último avance en la familia de tecnología FineCarb®, es un proceso único que ofrece un valor total tanto en el costo de operación como en su eficiencia:

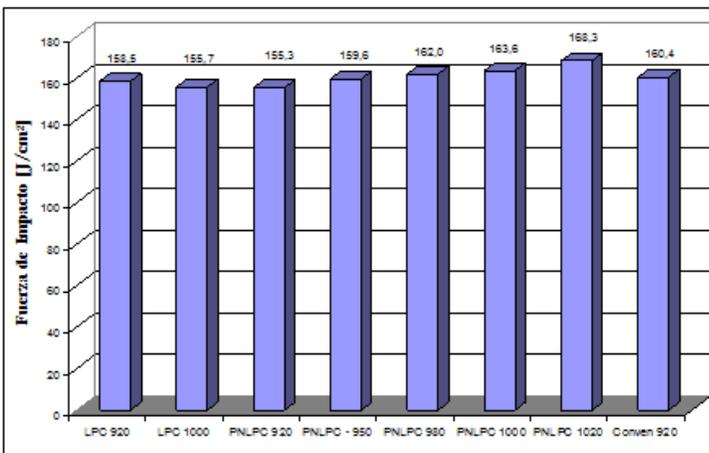


Fig. 7 Resistencia de Impacto de la Ranura de acuerdo a la prueba Charpy para acero 16MnCr5 dependiendo de la tecnología aplicada.

- Reduce el tiempo del ciclo de carburizado
- Costo de proceso más bajo
- Sin oxidación interna
- Uniformidad excelente
- Óptima penetración del carbono
- Ninguna emisión de CO₂
- Amigable al medio ambiente



Fig. 8 Incremento de la Eficiencia en base a la Profundidad Efectiva del Recubrimiento.

Para cada 100 procesos (por ej. para 0,6mm ECD) de acuerdo a los métodos tradicionales de carburizado (Fig. 8), la tecnología PreNitLPC® puede ofrecerle hasta un 40% de aumento en la eficiencia del proceso.

La penetración óptima del carbono permite un tratamiento térmico eficiente en formas complejas y una uniformidad superior en el recubrimiento en cargas empacadas densamente. Esta tecnología es adaptable tanto a hornos nuevos como hornos existentes equipados con la tecnología FineCarb® y pueden ser usados ya sea con templado de aceite o de gas.

Capítulo 6 – Tablas de Conversión de Dureza

ESCALA ROCKWELL – ACEROS ENDURECIDOS Y ALEACIONES DURAS

C	A	D	15N	30N	45N	G	Dph	Khn*	Bhn	Esfuerzo a la Tensión
							10kg	500g & Sobre	300kg	10 ³ lb/pul ² (approx.)
80	92.0	86.5	96.5	92.0	87.0	-	1865	-	-	-
79	91.5	85.5	-	91.5	86.5	-	1787	-	-	-
78	91.0	84.5	96.0	91.0	85.5	-	1710	-	-	-
77	90.5	84.0	-	90.5	84.5	-	1633	-	-	-
76	90.0	83.0	95.5	90.0	93.5	-	1556	-	-	-
75	89.5	82.5	-	89.0	82.5	-	1478	-	-	-
74	89.0	81.5	95.0	88.5	81.5	-	1400	-	-	-
73	88.5	81.0	-	88.0	80.5	-	1323	-	-	-
72	88.0	80.0	94.5	87.0	79.5	-	1245	-	-	-
71	87.0	79.5	-	86.5	78.5	-	1160	-	-	-
70	86.5	78.5	94.0	86.0	77.5	-	1076	972	-	-
69	86.0	78.0	93.5	85.0	76.5	-	1004	946	-	-
68	85.5	77.0	-	84.5	75.5	-	942	920	-	-
67	85.0	76.0	93.0	83.5	74.5	-	894	895	-	-
66	84.5	75.5	92.5	83.0	73.0	-	854	870	-	-
65	84.0	74.5	92.0	82.0	72.0	-	820	846	-	-
64	83.5	74.0	-	81.0	71.0	-	789	822	-	-
63	83.0	73.0	91.5	80.0	70.0	-	763	799	-	-
62	82.5	72.5	91.0	79.0	69.0	-	739	776	-	-
61	81.5	71.5	90.5	78.5	67.5	-	716	754	-	-
60	81.0	71.0	90.0	77.5	66.5	-	695	732	614	-
59	80.5	70.0	89.5	76.5	65.5	-	675	710	600	-
58	80.0	69.0	-	75.5	64.0	-	655	690	587	-
57	79.5	68.5	89.0	75.0	63.0	-	636	670	573	-
56	79.0	67.5	88.5	74.0	62.0	-	617	650	560	-
55	78.5	67.0	88.0	73.0	61.0	-	598	630	547	301
54	78.0	66.0	87.5	72.0	59.5	-	580	612	534	291
53	77.5	65.5	87.0	71.0	58.5	-	562	594	522	282
52	77.0	64.5	86.5	70.5	57.5	-	545	576	509	273
51	76.5	64.0	86.0	69.5	56.0	-	528	558	496	264
50	76.0	63.0	85.5	68.5	55.0	-	513	542	484	255
49	75.5	62.0	85.0	67.5	54.0	-	498	526	472	246
48	74.5	61.5	84.5	66.5	52.5	-	485	510	460	237
47	74.0	60.5	84.0	66.0	51.5	-	471	495	448	229
46	73.5	60.0	83.5	65.0	50.0	-	458	480	437	221
45	73.0	59.0	83.0	64.0	49.0	-	446	466	437	214
44	72.5	58.5	82.5	63.0	48.0	-	435	452	426	207
43	72.0	57.5	82.0	62.0	46.5	-	424	438	415	200

42	71.5	57.0	81.5	61.5	45.5	-	413	426	404	194
41	71.0	56.0	81.0	60.5	44.5	-	403	414	393	188
40	70.5	55.5	80.5	59.5	43.0	-	393	402	382	182
39	70.0	54.5	80.0	58.5	42.0	-	383	391	372	177
38	69.5	54.0	79.5	57.5	41.0	-	373	380	362	171
37	69.0	53.0	79.0	56.5	39.5	-	363	370	342	166
36	68.5	52.5	78.5	56.0	38.5	-	353	360	332	162
35	68.0	51.5	78.0	55.0	37.0	-	343	351	322	157
34	67.5	50.5	77.0	54.0	36.0	-	334	342	313	153
33	67.0	50.0	76.5	53.0	35.0	-	325	334	305	148
32	66.5	49.0	76.0	52.0	33.5	-	317	326	297	144
31	66.0	48.5	75.5	51.5	32.5	-	309	318	290	140
30	65.5	47.5	75.0	50.5	31.5	92.0	301	311	283	136
29	65.0	47.0	74.5	49.5	30.0	91.0	293	304	276	132
28	64.5	46.0	74.0	48.5	29.0	90.0	285	297	270	129
27	64.0	45.5	73.5	47.5	28.0	89.0	278	290	265	126
26	63.5	44.5	72.5	47.0	26.5	88.0	271	284	260	123
25	63.0	44.0	72.0	46.0	25.5	87.0	264	278	255	120
24	62.5	43.0	71.5	45.0	24.0	86.0	257	272	250	117
23	62.0	42.5	71.0	44.0	23.0	84.5	251	266	245	115
22	61.5	41.5	70.5	43.0	22.0	83.5	246	261	240	112
21	61.0	41.0	70.0	42.5	20.0	82.5	241	256	235	110
20	60.5	40.0	69.5	41.5	19.5	81.0	236	251	230	108

ESCALA ROCKWELL – ACEROS SUAVES, HIERRO GRIS Y HIERRO FUNDIDO
MALEABLE Y LA MAYORÍA DE METALES NO FERROSOS

B	F	G	15T	30T	45T	E	H	K	A	Khn*	Bhn 500 kg	Bhn 3000 kg	Esfuerzo a la Tensión
										Sobre 500g	(10mm bola)	& Dph, 10kg	103 lb/pul ² approx.
100	-	82.5	93.0	82.0	72.0	-	-	-	61.5	251	201	240	116
99	-	81.0	92.5	81.5	71.0	-	-	-	61.0	246	195	234	112
98	-	79.0	-	81.0	70.0	-	-	-	60.0	241	189	228	109
97	-	77.5	92.0	80.5	69.0	-	-	-	59.5	236	184	222	106
96	-	76.0	-	80.0	68.0	-	-	-	59.0	231	179	216	103
95	-	74.0	91.5	79.0	67.0	-	-	-	58.0	226	175	210	101
94	-	72.5	-	78.5	66.0	-	-	-	57.5	221	171	205	98
93	-	71.0	91.0	78.0	65.5	-	-	-	57.0	216	167	200	96
92	-	69.0	90.5	77.5	64.5	-	-	100.0	56.5	211	163	195	93
91	-	67.5	-	77.0	63.5	-	-	99.5	56.0	206	160	190	91
90	-	66.0	90.0	76.0	62.5	-	-	98.5	55.5	201	157	185	89
89	-	64.0	89.5	75.5	61.5	-	-	98.0	55.0	196	154	180	87
88	-	62.5	-	75.0	60.5	-	-	97.0	54.0	192	151	176	85
87	-	61.0	89.0	74.5	59.5	-	-	96.5	53.5	188	148	172	83
86	-	59.0	88.5	74.0	58.5	-	-	95.5	53.0	184	145	169	81
85	-	57.5	-	73.5	58.0	-	-	94.5	52.5	180	142	165	80
84	-	56.0	88.0	73.0	57.0	-	-	94.0	52.0	176	140	162	78
83	-	54.0	87.5	72.0	56.0	-	-	93.0	51.0	173	137	159	77
82	-	52.5	-	71.5	55.0	-	-	92.0	50.5	170	135	156	75
81	-	51.0	87.0	71.0	54.0	-	-	91.0	50.0	167	133	153	74
80	-	49.0	86.5	70.0	53.0	-	-	90.5	49.5	164	130	150	72
79	-	47.5	-	69.5	52.0	-	-	89.5	49.0	161	128	147	-
78	-	46.0	86.0	69.0	51.0	-	-	88.5	48.5	158	126	144	-
77	-	44.0	85.5	68.0	50.0	-	-	88.0	48.0	155	124	141	-
76	-	42.5	-	67.5	49.0	-	-	87.0	47.0	152	122	139	-
75	99.5	41.0	85.0	67.0	48.5	-	-	86.0	46.5	150	120	137	-
74	99.0	39.0	-	66.0	47.5	-	-	85.0	46.0	147	118	135	-
73	98.5	37.5	84.5	65.5	46.5	-	-	84.5	45.5	145	116	132	-
72	98.0	36.0	84.0	65.0	45.5	-	-	83.5	45.0	143	114	130	-
71	97.5	34.5	-	64.0	44.5	100.0	-	82.5	44.5	141	112	127	-
70	97.0	32.5	83.5	63.5	43.5	99.5	-	81.5	44.0	139	110	125	-
69	96.0	31.0	83.0	62.5	42.5	99.0	-	81.0	43.5	137	109	123	-
68	95.5	29.5	-	62.0	41.5	98.0	-	80.0	43.0	135	107	121	-
67	95.0	28.0	82.5	61.5	40.5	97.5	-	89.0	42.5	133	106	119	-
66	94.5	26.5	82.0	60.5	39.5	97.0	-	78.0	42.0	131	104	117	-
65	94.0	25.0	-	60.0	38.5	96.0	-	77.5	-	129	102	116	-
64	93.5	23.5	81.5	59.5	37.5	95.5	-	76.5	41.5	127	101	114	-
63	93.0	22.0	81.0	58.5	36.5	95.0	-	75.5	41.0	125	99	112	-
62	92.0	20.5	-	58.0	35.5	94.5	-	74.5	40.5	124	98	110	-
61	91.5	19.0	80.5	57.0	34.5	93.5	-	74.0	40.0	122	96	108	-

60	91.0	17.5	-	56.5	33.5	93.0	-	73.0	39.5	120	95	107	-
59	90.5	16.0	80.0	56.0	32.0	92.5	-	72.0	39.0	118	94	106	-
58	90.0	14.5	79.5	55.0	31.0	92.0	-	71.0	38.5	117	92	104	-
57	89.5	13.0	-	54.5	30.0	91.0	-	70.5	38.0	115	91	103	-
56	89.0	11.5	79.0	54.0	29.0	90.5	-	69.5	-	114	90	101	-
55	88.0	10.0	78.5	53.0	28.0	90.0	-	68.5	37.5	112	89	100	-
54	87.5	8.5	-	52.5	27.0	89.5	-	68.0	37.0	111	87	-	-
53	87.0	7.0	78.0	51.5	26.0	89.0	-	67.0	36.5	110	86	-	-
52	86.5	5.5	77.5	51.0	25.0	88.0	-	66.0	36.0	109	85	-	-
51	86.0	4.0	-	50.5	24.0	87.5	-	65.0	35.5	108	84	-	-
50	85.5	2.5	77.0	49.5	23.0	87.0	-	64.5	35.0	107	83	-	-
49	85.0	-	76.5	49.0	22.0	86.5	-	63.5	-	106	82	-	-
48	84.5	-	-	48.5	20.5	85.5	-	62.5	34.5	105	81	-	-
47	84.0	-	76.0	47.5	19.5	85.0	-	61.5	34.0	104	80	-	-
46	83.0	-	75.5	47.0	18.5	84.5	-	61.0	33.5	103	-	-	-
45	82.5	-	-	46.0	17.5	84.0	-	60.0	33.0	102	79	-	-
44	82.0	-	75.0	45.5	16.5	83.5	-	59.0	32.5	101	78	-	-
43	81.5	-	74.5	45.0	15.5	82.5	-	58.0	32.0	100	77	-	-
42	81.0	-	-	44.0	14.5	82.0	-	57.5	31.5	99	76	-	-
41	80.5	-	74.0	43.5	13.5	81.5	-	56.5	31.0	98	75	-	-
40	79.5	-	73.5	43.0	12.5	81.0	-	55.5	-	97	-	-	-
39	79.0	-	-	42.0	11.0	80.0	-	54.5	30.5	96	74	-	-
38	78.5	-	73.0	41.5	10.0	79.5	-	54.0	30.0	95	73	-	-
37	78.0	-	72.5	40.5	9.0	79.0	-	53.0	29.5	94	72	-	-
36	77.5	-	-	40.0	8.0	78.5	100.0	52.0	29.0	93	-	-	-
35	77.0	-	72.0	39.5	7.0	78.0	99.5	51.5	28.5	92	71	-	-
34	76.5	-	71.5	38.5	6.0	77.0	99.0	50.5	28.0	91	70	-	-
33	75.5	-	-	38.0	5.0	76.5	-	49.5	-	90	69	-	-
32	75.0	-	71.0	37.5	4.0	76.0	98.5	48.5	27.5	89	-	-	-
31	74.5	-	-	36.5	3.0	75.5	98.0	48.0	27.0	88	68	-	-
30	74.0	-	70.5	36.0	2.0	75.0	-	47.0	26.5	-	67	-	-
29	73.5	-	70.0	35.5	1.0	74.0	97.5	46.0	26.0	-	-	-	-
28	73.0	-	-	34.5	-	73.5	97.0	45.0	25.5	-	66	-	-
27	72.5	-	69.5	34.0	-	73.0	96.5	44.5	25.0	85	-	-	-
26	72.0	-	69.0	33.0	-	72.5	-	43.5	24.5	-	65	-	-
25	71.0	-	-	32.5	-	72.0	96.0	42.5	-	-	64	-	-
24	70.5	-	68.5	32.0	-	71.0	95.5	41.5	24.0	-	-	-	-
23	70.0	-	68.0	31.0	-	70.5	-	41.0	23.5	82	63	-	-
22	69.5	-	-	30.5	-	70.0	95.0	40.0	23.0	-	-	-	-
21	69.0	-	67.5	29.5	-	69.5	94.5	39.0	22.5	-	62	-	-
20	68.5	-	-	29.0	-	68.5	-	38.0	22.0	-	-	-	-
19	68.0	-	67.0	28.5	-	68.0	94.0	37.5	21.5	79	61	-	-
18	67.0	-	66.5	27.5	-	67.5	93.5	36.5	-	-	-	-	-
17	66.5	-	-	27	-	67.0	93.0	35.5	21.0	-	60	-	-
16	66.0	-	66.0	26	-	66.5	-	35.0	20.5	-	-	-	-
15	65.5	-	65.5	25.5	-	65.5	92.5	34.0	20.0	76	59	-	-
14	65.0	-	-	25	-	65.0	92.0	33.0	-	-	-	-	-
13	64.5	-	65.0	24.0	-	64.5	-	32.0	-	-	58	-	-
12	64.0	-	64.5	23.5	-	64.0	91.5	31.5	-	-	-	-	-
11	63.5	-	-	23.0	-	63.5	91.0	30.5	-	73	-	-	-

10	63.0	-	64.0	22.0	-	62.5	90.5	29.5	-	-	57	-	-
9	62.0	-	-	21.5	-	62.0	-	29.0	-	-	-	-	-
8	61.5	-	63.5	20.0	-	61.5	90.0	28.0	-	71	-	-	-
7	61.0	-	63.0	20.0	-	61.0	89.5	27.0	-	-	56	-	-
6	60.5	-	-	19.5	-	60.5	-	26.0	-	-	-	-	-
5	60.0	-	62.5	18.5	-	60.0	89.0	25.5	-	69	55	-	-
4	59.5	-	62.0	18.0	-	59.0	88.5	24.5	-	-	-	-	-
3	59.0	-	-	17.0	-	58.5	88.0	23.5	-	-	-	-	-
2	58.0	-	61.5	16.5	-	58.0	-	23.0	-	68	54	-	-
1	57.5	-	61.0	16.0	-	57.5	87.5	22.0	-	-	-	-	-
0	57.0	-	-	15.0	-	57.0	87.0	21.0	-	67	53	-	-

Capítulo 7 – Datos Misceláneos

COLORES DE LOS CALORES DE ENDURECIMIENTO Y REVENIDO

Colores de los Calores de Endurecimiento		
°F	°C	Color del Calor
752	400	Rojo – visible en la oscuridad
885	474	Rojo - visible en el crepúsculo
975	525	Rojo - visible en luz de día
1077	581	Rojo -visible a la luz del sol
1292	700	Rojo Mate
1472	800	Parecido a Rojo Cereza
1652	900	Rojo Cereza
1832	1000	Rojo Cereza Brillante
2012	1100	Rojo Anaranjado
2192	1200	Amarillo Anaranjado
2372	1300	Blanco
2552	1400	Blanco Brillante
2732	1500	Blanco Deslumbrante
2912	1600	Blanco Azulado

Colores de los Calores de Revenido				
Temp. mantenida durante 1 hora		Color de los Óxidos	Temp. mantenida por 8 min	
°F	°C		°F	°C
370	188	Amarillo Claro	460	238
390	199	Paja Claro	510	265
410	210	Paja Oscuro	560	293
430	221	Café	610	321
450	232	Morado	640	337
490	254	Azul Oscuro	660	349
510	265	Azul Claro	710	376

PESOS Y PUNTOS DE FUSIÓN

Metal	Peso por Cu. pul. lbs.	Peso por Cu. pies. lbs.	Punto de Fusión °F	Media específica de calor de 60 a punto de fusión BTU per lb. per °F
Aluminio		166.7	1215	0.248
Antimonio		418.7	1166	0.054
Bismuto		611.5	418	0.033
Latón		536.6	1700-1850	0.104
Bronce		522.2	1675	0.095
Cadmio		536.6	610	0.058
Cobre		550.4	1981	0.104
Oro		1205.6	1945	0.033
Hiero (fundido)	0.2600	449.2	2100-2300	0.150
Plomo	0.4105	709.5	621	0.032
Magnesio	0.0628	108.6	1204	0.272
Níquel	0.3177	556	2646	0.134
Platino	0.8184	1416.6	3191	0.032
Plata	0.3802	657.1	1761	0.063
Solderín (Estaño y Plomo)	0.3325	585.6	450	0.040
Acero	0.2816	486.7	2500	0.165
Estaño	0.2632	454.8	449	0.069
Zinc	0.2581	446.1	787	0.107

TOLERANCIAS DE TIEMPOS DE CALENTAMIENTO PARA ENDURECIMIENTO

De acuerdo a pruebas efectuadas por la Carpenter Steel Company, en el Boletín de Servicio Volúmen 2, el centro y la superficie del trabajo deben alcanzar la misma temperatura dentro del horno al mismo tiempo y de acuerdo a dicho estudio el mejor método para determinar el tiempo necesario para alcanzar el calor para lograr el endurecimiento es bajo la observación visual del trabajo en calentamiento, observando las siguientes precauciones:

1. Posicione el termocople directamente detrás de la sección más grande de trabajo.
2. Juzgue la temperatura actual del trabajo, es decir que no existan escamas o esquinas desprendidas, viendo a través de la puerta entre abierta del horno y no a través de la mirilla.
3. Permíta aproximadamente 5 minutos por pulgada de sección para que el calor se extienda uniformemente y que los termocoples se encuentren calientes (1400° a 1500°).

Una regla burda para calcular el tiempo de calentamiento, es calcular aproximadamente la penetración del calor a una relación de 1/8" por 5 minutos o 20 minutos por pulgada para barras redondas. Para aceros de alta velocidad en una temperatura de endurecimiento, el tiempo total permitido es de 4 a 6 minutos por pulgada de espesor pero nunca permitirle que "ampolle". Esta tabla provee de las relaciones aproximadas para otras figuras:

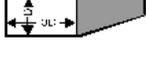
FIGURAS	FACTOR DE VELOCIDAD
 Cilindro Largo (dia. = D)	1
 Cuadrado Largo (D x D)	1
 Rectángulo Largo (D x 2D)	.7
 Rectángulo Largo (D x 2D)	.6
 Placa Infinita (muy ancha, grosor = D)	.5
 Esfera (dia. = D)	1.5
 Cubo (D x D x D)	1.5

TABLA DE TIEMPOS APROXIMADOS DE CALENTAMIENTO PARA REVENIDO

TIEMPO REQUERIDO (por pulgada) PARA QUE EL HORNO ALCANCE LA TEMPERATURA

Por pulgada de diámetro o grosor, manteniendo el horno estable a T max. teniendo el acero una superficie¹ oscura o con escamas.

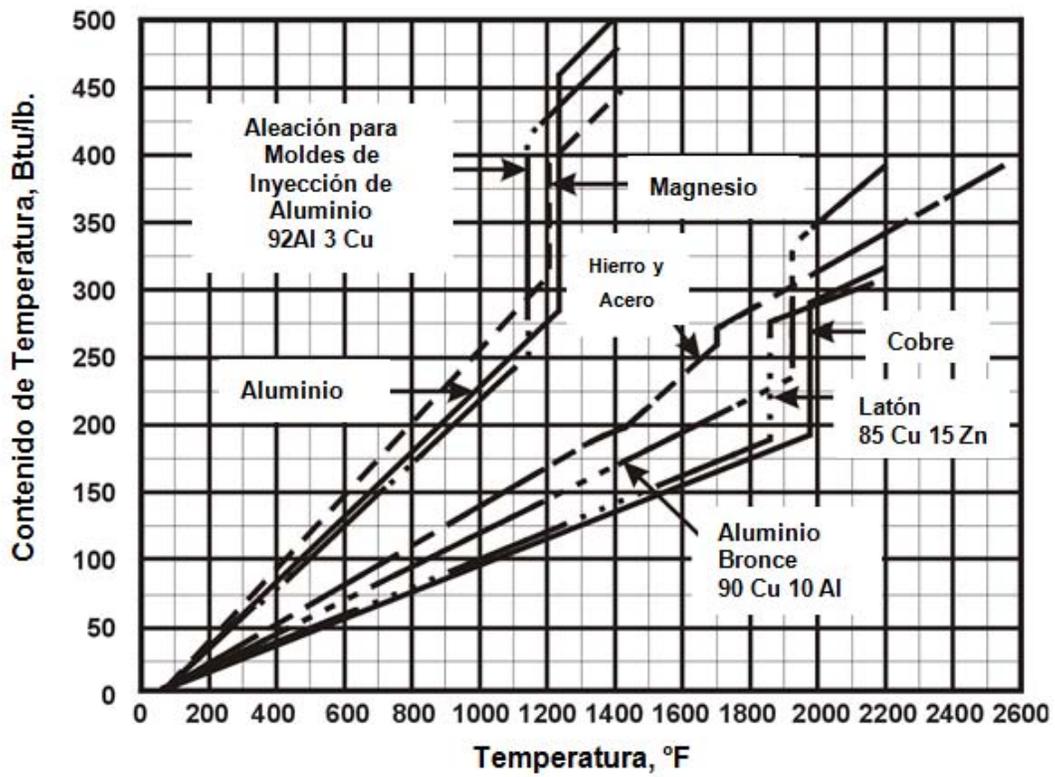
Revenido	En un horno de aire caliente, sin circulación			En un horno de aire circulante, o baño ² de aceite		
	Cubos o Esferas	Cuadrados o Cilindros	Promedio de Pisos	Cubos o Esferas	Cuadrados o Cilindros	Promedio de Pisos
250°F	30 min.	55 min.	80 min.	15 min.	20 min.	30 min.
300°	30	50	75	15	20	30
350°	30	50	70	15	20	30
400°	25	45	65	15	20	30
500°	25	40	60	15	20	30
600°	25	40	55	15	20	30
700°	20	35	50	15	20	30
800°	20	30	45	15	20	30
900°	20	30	40	15	20	30

NOTA: Temperaturas sobre los 900°F son visibles – observe el color.

- (1) Las figuras arriba mencionadas generan un color oscuro y escamas en la superficie de la herramienta. Si la superficie de la herramienta no tiene dichas características o tiene un color brillante, trátelo por el doble de tiempo en un horno de aire caliente estable. No necesita efectuarse un margen adicional a las superficies brillantes en un horno de aire circulante o en un baño de aceite.
- (2) Un baño de aceite puede ser utilizado sólo en las temperaturas más bajas.

Fuente: Boletín Carpenter Service Bulletin Vol. 2, No. 9.

Contenido de Calor de los Metales a Diversas Temperaturas



El endurecimiento es un término usado para designar una propiedad del acero la cual determina la profundidad y distribución de la dureza inducida por un templeado de la temperatura de austenización. Aunque la dureza de la superficie de una parte mediante el templeado depende primordialmente del contenido de carbono y la velocidad de enfriado; la profundidad a la que la dureza será mantenida en base a las condiciones del templeado es una función de su endurecimiento. El endurecimiento es en su mayoría determinado por el porcentaje de elementos de aleación presentes en el acero. El tamaño de grano austenítico, el tiempo y temperatura durante la austenización y su estructura primaria también pueden tener efectos significativos en el endurecimiento.

El endurecimiento, determinado por procedimientos estándares descritos abajo, es una constante en base a la composición; mientras que la dureza variará de acuerdo a la velocidad de enfriado. Por lo tanto, para una composición determinada, la dureza obtenida en cualquier lugar de la parte dependerá no solo del contenido de carbon y su endurecimiento; sino también del tamaño y configuración de la parte y de las condiciones del temple y templeado.

El endurecimiento requerido para una parte en particular depende de varios factores: incluyendo tamaño, diseño y servicios de esfuerzos. Para partes con esfuerzos muy elevados, particularmente aquellos sometidos a tensión, la mejor combinación de resistencia y dureza se alcanza mediante el endurecimiento de una estructura martensítica seguida de un revenido adecuado. El revenir dichas partes martensíticas en un 80% como mínimo es generalmente considerado adecuado. El acero de carbono puede ser utilizado para secciones delgadas, pero entre el tamaño de la sección se incrementa, se requieren aleaciones de acero que permitan un mayor endurecimiento. Cuando se requiere un esfuerzo moderado, revenir partes martensíticas en un mínimo de 50% es algunas veces apropiado.

Con el objetivo de cumplir con los requerimientos de esfuerzo de cargas de una aplicación en particular, debe seleccionarse un acero con carbono o una aleación de acero que cumpla con el endurecimiento requerido. La práctica usual es selección el grado más económico que puede consistentemente cubrir las necesidades deseadas.

Existen muchas aplicaciones donde la dureza-endurecimiento no son necesarios, o inclusive no se desean. Por ejemplo, para partes donde los esfuerzos son principalmente en la superficie o cerca de ésta o partes donde la resistencia al uso o al impacto de carga son consideraciones primarias; los tratamiendos de endurecimiento de aceros huecos o tratamientos de endurecimiento de superficies, como se discute abajo, pueden ser apropiados.

Prueba de Endurecimiento del Templado Extremo

El método más usado comúnmente para determinar el endurecimiento es la Prueba de Endurecimiento del Templado Extremo desarrollado por Jominy y Boegehold¹.

Al realizar la prueba, una muestra de 1 pulgada de redondo y 4 pulgadas de largo es primero normalizada para eliminar la variable de que su microestructura previa influya; posteriormente, es calentada uniformemente a una temperatura austenítica estándar. Entonces la muestra es removida y ubicada en una plantilla para ser inmediatamente templada en extremo por un jet de agua mantenido a temperatura ambiente. El agua entra en contacto con el extremo de la cara de la muestra sin mojar sus lados y el templado continúa hasta que la muestra ha sido enfriada por completo.

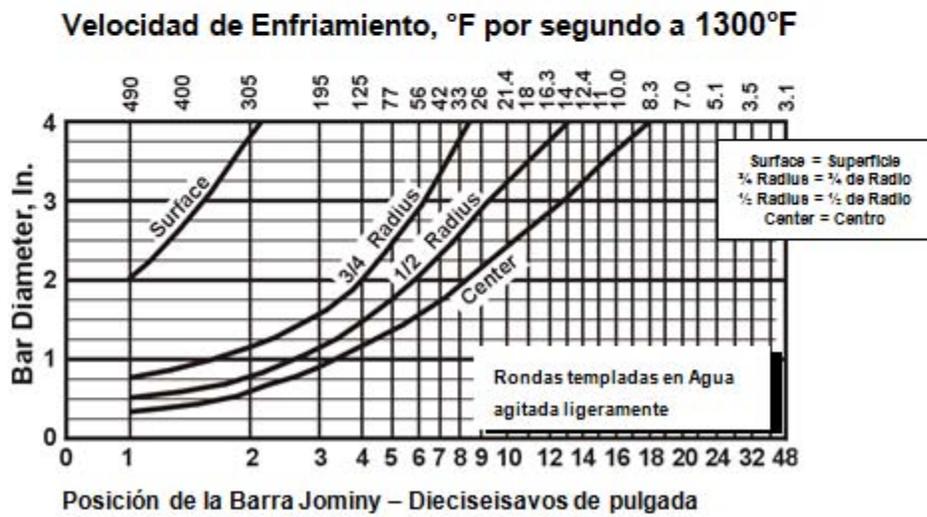
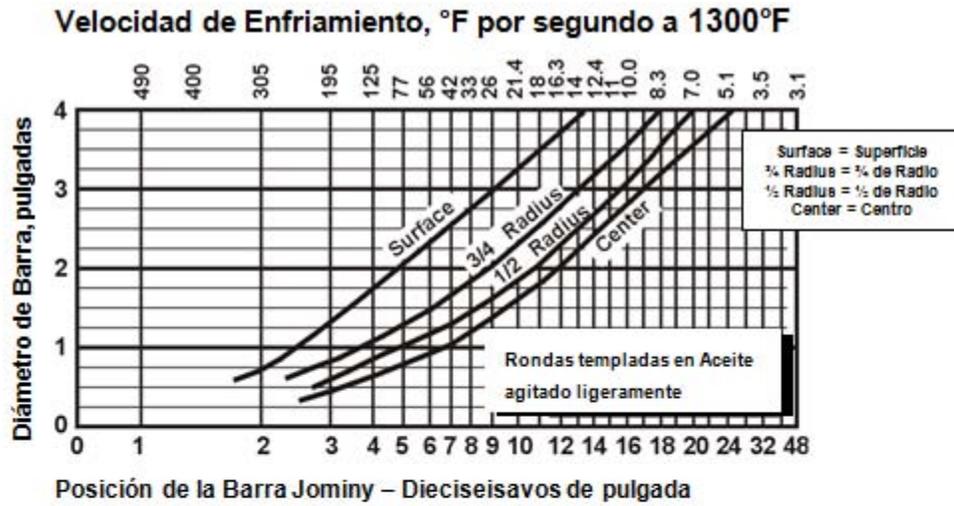
Superficies planas longitudinales son puestas en partes opuestas de la muestra templada y se utiliza la Escala Rockwell C para tomar las lecturas en intervalos de 16 pulgadas para la primera pulgada del extremo templado y a mayores intervalos hasta que se alcanza un nivel de dureza de HRC 20 o una distancia de 2 pulgadas del extremo templado.

Una curva de endurecimiento es trazada usualmente utilizando las lecturas Rockwell C como ordinales y las distancias del templado extremo como abscisas. Datos representativos han sido acumulados para una variedad de grados estándares y publicados por SAE y AISI como bandas-H. Éstas muestran gráficamente y en forma tabular los límites máximos y mínimos aplicables para cada grado. Aceros especificados en estos límites reciben el nombre de grados – H.

(1) Para una completa descripción de esta prueba vea el Manual SAE o la Designación A255 de ASTM

ASTM: <http://www.astm.org/BOOKSARE/PUBS/1377.htm>

SAE Handbook: <http://www.sae.org/pubs/>



De Manual SAE 1959 página 55

Manual SAE: <http://www.sae.org/pubs/>

CÁLCULOS DE ENDURECIMIENTO DE TEMPLADO FINAL BASADOS EN ANÁLISIS

Puesto que sólo el final de la muestra es templada en esta prueba, es obvio que la velocidad de enfriamiento a lo largo de la superficie de la muestra se disminuye conforme la distancia del final de la muestra templada se incrementa. Experimentos han confirmado que la velocidad de enfriamiento a un determinado punto a lo largo de la barra puede ser correlacionada con la velocidad de enfriamiento en varios lugares en rondas de diferentes tamaños.

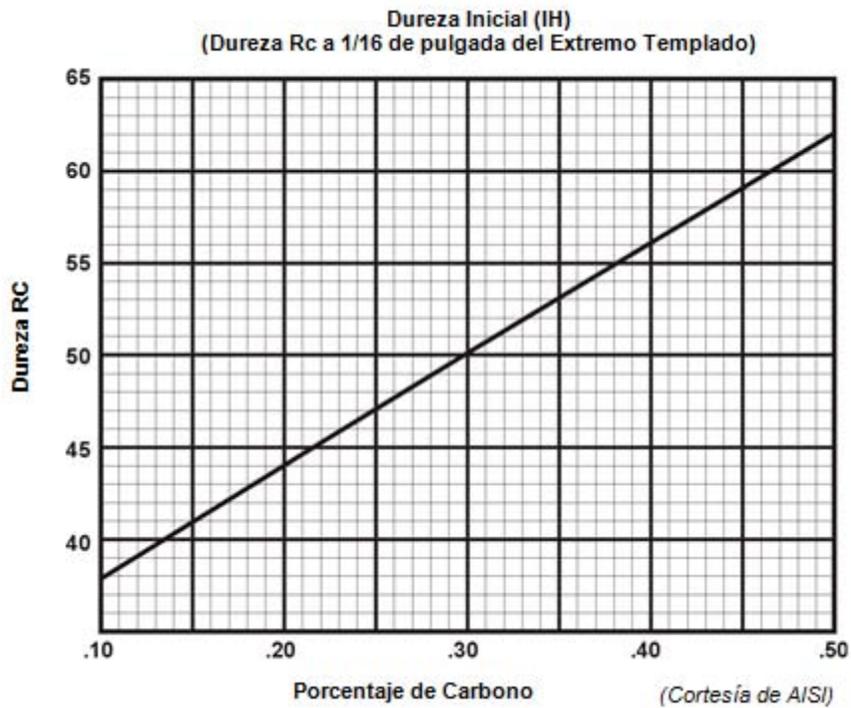
Las siguientes gráficas muestran dicha correlación para una superficie de medida de $\frac{3}{4}$ de radio, $\frac{1}{2}$ de radio y lugares centrales para rondas hasta de 4 pulgadas de diámetro las cuales fueron templadas en Agua y Aceite ligeramente agitados. Datos similares son mostrados en lo alto de cada banda – H al ser publicadas por SAE y AISI. Dichos valores no son absolutos, pero son útiles en determinar los grados en los cuales se puede lograr una dureza particular en un lugar específico en la sección dada.

Cálculo del Endurecimiento del Templado Extremo Basado en Análisis

Es algunas veces deseable predecir la curva de endurecimiento del templado extremo de un determinado análisis o de un acero comercial no disponible para pruebas.

El método¹ descrito aquí permite un medio razonablemente exacto para medir la dureza en cualquier lugar Jominy en una sección de acero donde se conozca su análisis y el tamaño de su grano. Para ilustrar este método, considere un calor de 8640 con un grano tamaño No. 8 a la temperatura de templado y el análisis mostrado en el Paso II, abajo.

PASO I. Determine la dureza inicial (IH). Esta es la dureza de 1/16 de pulgada en el extremo en la muestra de templado extremo y es una función del contenido de carbono ilustrado por la gráfica abajo. La dureza inicial (IH) para .39% de carbono es HRC 55.5.



(1) Basado en el trabajo de M.A. Grossman, AIME, February 1942, y J. Field, Metal Progress, March 1943.

FACTORES MULTIPLICADORES PARA EL CARBONO DE ACUERDO AL TAMAÑO DEL GRANO

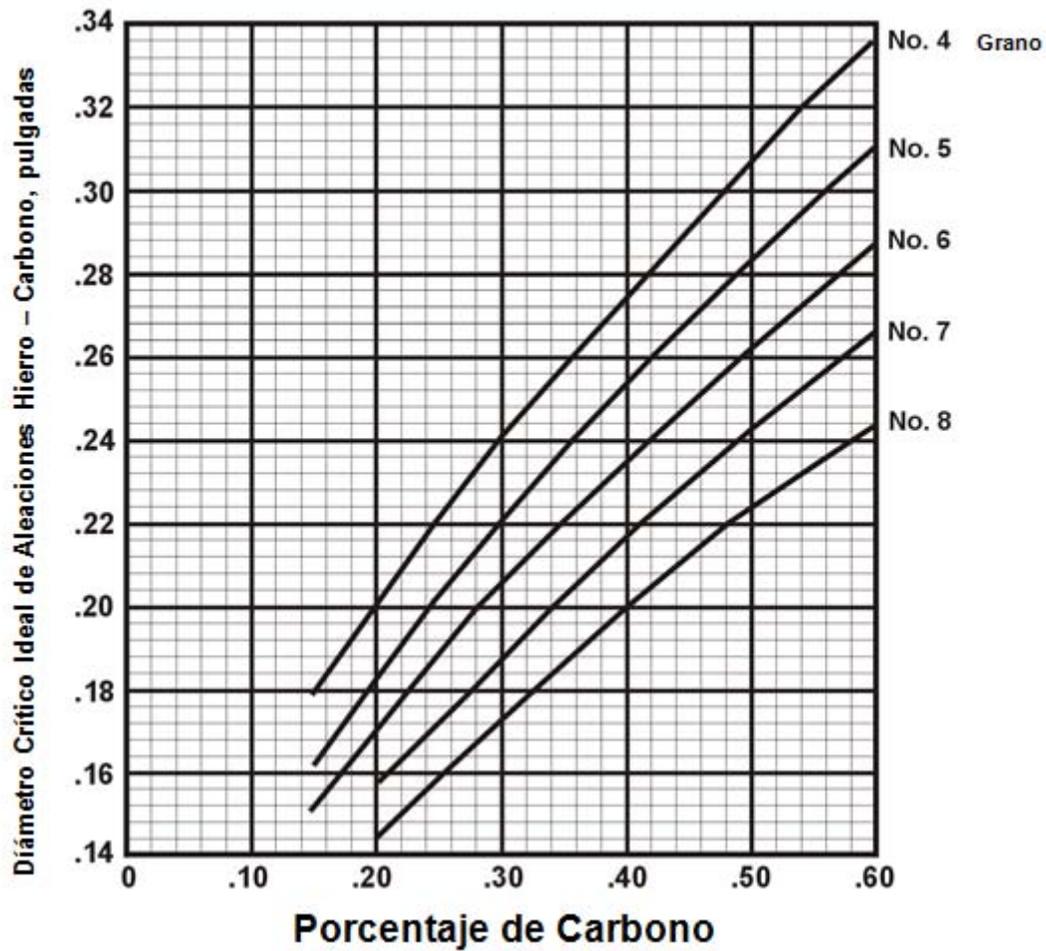
PASO II. Calcule el diámetro crítico ideal (DI). Esto es el diámetro más grande del análisis dado, el cual endurecerá la martensita a un 50% en el centro durante el templeado ideal. El DI es el producto de multiplicar los factores que representan cada elemento.

De las gráficas inferiores, encuentre el factor multiplicador para el Carbono de tamaño de grano No. 8 y para los otros elementos

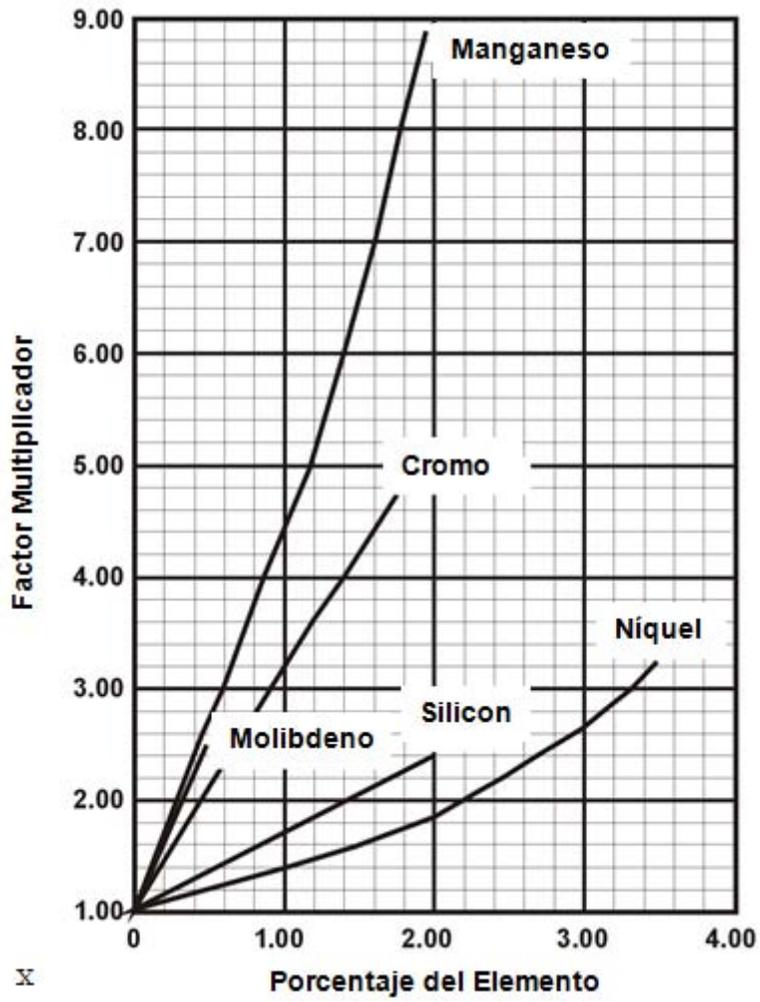
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
Análisis de Calor (%)	.39	.91	.25	.54	.56	.20
Factor Multiplicador	.195	4.03	1.18	1.20	2.21	1.60

El producto de estos factores es 3.93 DI.

Factores Multiplicadores para el Carbono por el Tamaño de Grano



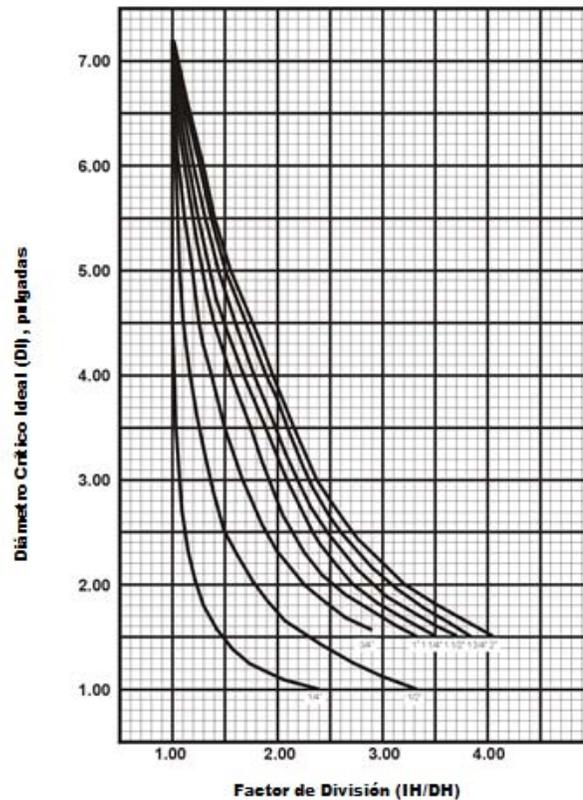
Factores Multiplicadores para Elementos de Aleaciones



RELACIÓN DE ENTRE DI Y FACTORES DE DIVISIÓN PARA VARIAS DISTANCIAS DE TEMPLADO EXTREMO

PASO III Determine la relación IH/DH correspondiente de cada distancia Jominy para un DI de 3.93. La relación es en base a la observación que con un DI 7.30 o mayor en un templado extremo, se obtiene una curva que se aproxima por fuera a una línea recta de 2 pulgadas; y que un DI menor que 7.30 producirá una curva en caída. La caída en dureza en el punto de la curva puede ser convenientemente expresada en una relación de un máximo de dureza alcanzable (IH) comparada a la dureza obtenida actualmente (DH). Las relaciones IH/DH, o los factores de división, están dibujados en la siguiente grafica:

Relación entre DI y factores de división para varias distancias de Templado Extremo



COMPOSICIÓN DE DUREZA

PASO IV. Calcular la Constante de Dureza Rockwell para cada distancia dividiendo el IH (55.5) por cada factor de división.

<u>Distancia, pul.</u>	<u>Factor de División</u>	<u>HRC Calculado</u>
1/16	-	55.5
1/4	1.03	54
1/2	1.21	46
3/4	1.41	39.5
1	1.61	34.5
1 1/4	1.75	32
1 1/2	1.84	30
1 3/4	1.92	29
2	1.96	28.5

Fuente: Bethlehem Steel Co., "Modern Steels and Their Properties," Séptima Edición.

Si el efecto de varios de los elementos contenidos es conocido, es posible anticipar aproximadamente la respuesta del metal en el tratamiento de calor bajo condiciones idénticas. Dejando de lado la química, otra característica del acero desarrollado por la práctica de fundido, temperaturas circulantes, etc. es que debe ser similar al compararlo con aceros por el mismo método.

Valores que podrían ser utilizados para varios elementos son:

Carbono.....0.01% = 30	Cromo.....0.01%= 5
Manganeso.....0.01% = 8	Vanadio.....0.01%= 20
Fósforo.....0.001% = 4	Molibdeno.....0.01%= 16
Azufre.....0.001% = 1	Tungsteno.....0.01%= 4
Silicio.....0.01% = 5	Cobre.....0.01%= 4
Níquel.....0.01% = 4	

Estos factores han sido encontrados útiles al comparar el calor del acero conteniendo los mismos elementos. Sin embargo, dichos valores no son infalibles al comparar un tipo de acero con otro; puesto que el valor de cualquiera de dichos elementos de aleación varía dependiendo del efecto de un solo elemento o el efecto combinado de varios elementos. Lo anterior aplica de manera particular a los aceros de aleaciones.

Como un ejemplo de la aplicación de este método rápido, se compare el factor de endurecimiento AISI C1030 con AIS C1132 usando el mismo rango medio de análisis.

<u>AISI C1030</u>	<u>AISIx1132</u>
Carbono.....30x30= 900	Carbono.....30x30= 900
Manganeso....75x8= 600	Manganeso....150x8= 1200
Fósforo.....23x4= 92	Fósforo.....23x4= 92
Azufre.....27x1= 27	Azufre.....112x1= 112
Silicio.....20x5= <u>100</u>	Silicio.....20x5= <u>100</u>
Factor de Endurecimiento = 1719	Factor de Endurecimiento = 2404

Un método aritmético para obtener la resistencia a la tensión aproximada del acero con carbono rolando.

$$T.S. (\text{Resistencia a la tensión}) = C \times 650 + M \times 90 + M \times C \times 4 + P \times 1000 + 38800$$

Fuente: Bethlehem Steel Co. Catálogo 107.

NOTA: Una descripción más teórica del endurecimiento puede ser encontrada en el Manual ASM, Vol. 4. <http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>

NOTAS DE TEMPLADO

El templado adecuado es reconocido como uno de los pasos más importantes en el tratamiento térmico, el siguiente extracto se obtuvo del Boletín Carpenter Service Bulletin que discute este importante tema.

El templado mediante el baño sin agitar de agua no es un medio de templado ideal puesto que una gran cantidad de gas es disuelto el cual se asienta en forma de burbujas en la superficie de la herramienta, especialmente en agujeros o hendiduras, formando puntos suaves que muy probablemente se puedan agrietar o debilitar gravemente la herramienta.

El templado en una solución salina sin agitar es mucho mejor que el de agua puesto que la sal disuelta en el agua previene a ésta de disolver en la atmósfera gases y la solución salina “se asienta” y “humedece” toda la herramienta inmediatamente; de esta forma, el proceso de templado es uniforme. La solución salina también quita las escamas mejor que el agua potable y usualmente deja a las herramientas más limpias. Ordinariamente el baño de templado con solución salina más satisfactorio tiene que contener entre el 5% y 10% de sal.

Una solución de templado de sosa cáustica al 5% es una de los baños de templado más rápidos y eficientes exceptuando que es corrosivo con la ropa y manos y es raramente necesario para la mayoría de trabajos de tratamiento térmico. Las temperaturas de este baño deben estar entre 70° y 100° F.

El aceite para el templado debe tener un punto alto de encendido, baja viscosidad, composición constante y debe mantenerse a temperaturas de 140° F. a 160° F.

En el temple por desalojo, el agua es tan buena como la solución salina pues no pueden formarse bolsas de gas en el trabajo.

ESCALAS DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURAS EN °F Y °C

Tipo de Tabla Albert Sauveur. Ver el estudio iniciando por la columna de en medio; si es en grados Centígrados, leer el equivalente en grados Fahrenheit en la columna a la derecha; si está en grados Fahrenheit, leer el equivalente en grados Centígrados en columna izquierda. Valores según lo impreso en "Bethlehem Alloy Steels".

-459.0 a 0			0 a 100						100 a 1000					
°C		°F	°C		°F	°C		°F	°C		°F	°C		°F
-273	-459.4		-17.8	0	32	10.0	50	122.0	38	100	212	260	500	932
-268	-450		-17.2	1	33.8	10.6	51	123.8	43	110	230	266	510	950
-262	-440		-16.7	2	35.6	11.1	52	125.6	49	120	248	271	520	968
-257	-430		-16.1	3	37.4	11.7	53	127.4	54	130	266	277	530	986
-251	-420		-15.6	4	39.2	12.2	54	129.2	60	140	284	282	540	1004
-246	-410		-15.0	5	41.0	12.8	55	131.0	66	150	302	288	550	1022
-240	-400		-14.4	6	42.8	13.3	56	132.8	71	160	320	293	560	1040
-234	-390		-13.9	7	44.6	13.9	57	134.6	77	170	338	299	570	1058
-229	-380		-13.3	8	46.4	14.4	58	136.4	82	180	356	304	580	1076
-223	-370		-12.8	9	48.2	15.0	59	138.2	88	190	374	310	590	1094
-218	-360		-12.2	10	50.0	15.6	60	140.0	93	200	392	316	600	1112
-212	-350		-11.7	11	51.8	16.1	61	141.8	99	210	410	321	610	1130
-207	-340		-11.1	12	53.6	16.7	62	143.6	100	212	413.6	327	620	1148
-201	-330		-10.6	13	55.4	17.2	63	145.4	104	220	428	332	630	1166
-196	-320		-10.0	14	57.2	17.8	64	147.2	110	230	446	338	640	1184
-190	-310		-9.4	15	59.0	18.3	65	149.0	116	240	464	343	650	1202
-184	-300		-8.9	16	60.8	18.9	66	150.8	121	250	482	349	660	1220
-179	-290		-8.3	17	62.6	19.4	67	152.6	127	260	500	354	670	1238
-173	-280		-7.8	18	64.4	20.0	68	154.4	132	270	518	360	680	1256
-169	-273	-459.4	-7.2	19	66.2	20.6	69	156.2	138	280	536	366	690	1274
-168	-270	-454	-6.7	20	68.0	21.1	70	158.0	143	290	554	371	700	1292
-162	-260	-436	-6.1	21	69.8	21.7	71	159.8	149	300	572	377	710	1310
-157	-250	-418	-5.6	22	71.6	22.2	72	161.6	154	310	590	382	720	1328
-151	-240	-400	-5.0	23	73.4	22.8	73	163.4	160	320	608	388	730	1346
-146	-230	-382	-4.4	24	75.2	23.3	74	165.2	166	330	626	393	740	1364
-140	-220	-364	-3.9	25	77.0	23.9	75	167.0	171	340	644	399	750	1382
-134	-210	-346	-3.3	26	78.8	24.4	76	168.8	177	350	662	404	760	1400
-129	-200	-328	-2.8	27	80.6	25.0	77	170.6	182	360	680	410	770	1418
-123	-190	-310	-2.2	28	82.4	25.6	78	172.4	188	370	698	416	780	1436
-118	-180	-292	-1.7	29	84.2	26.1	79	174.2	193	380	716	421	790	1454
-112	-170	-274	-1.1	30	86.0	26.7	80	176.0	199	390	734	427	800	1472
-107	-160	-256	-0.6	31	87.8	27.2	81	177.8	204	400	752	432	810	1490
-101	-150	-238	0	32	89.6	27.8	82	179.6	210	410	770	438	820	1508
-96	-140	-220	0.6	33	91.4	28.3	83	181.4	216	420	788	443	830	1526
-90	-130	-202	1.1	34	93.2	28.9	84	183.2	221	430	806	449	840	1544
-84	-120	-184	1.7	35	95.0	29.4	85	185.0	227	440	824	454	850	1562
-79	-110	-166	2.2	36	96.8	30.0	86	186.4	232	450	842	460	860	1580
-73	-100	-148	2.8	37	98.6	30.6	87	188.6	238	460	860	466	870	1598

-68	-90	-130	3.3	38	100.4	31.1	88	190.4	243	470	878	471	880	1616
-62	-80	-112	3.9	39	102.2	31.7	89	192.2	249	480	896	477	890	1634
-57	-70	-94	4.4	40	104.0	32.2	90	194.0	254	490	914	482	900	1652
-51	-60	-76	5.0	41	105.8	32.8	91	195.8				488	910	1670
-46	-50	-58	5.6	42	107.6	32.3	92	197.6				493	920	1688
-40	-40	-40	6.1	43	109.4	33.9	93	199.4				499	930	1706
-34	-30	-22	6.7	44	111.2	34.4	94	201.2				504	940	1724
-29	-20	-4	7.2	45	113.0	35.0	95	203.0				510	950	1742
-23	-10	14	7.8	46	114.8	35.6	96	204.8				516	960	1760
-17.8	0	32	8.3	47	116.6	36.1	97	206.6				521	970	1778
			8.9	48	118.4	36.7	98	208.4				527	980	1796
			9.4	49	120.2	37.2	99	210.2				532	990	1814
						37.8	100	212.0				538	1000	1832

1000 a 2000						2000 a 3000					
°C		°F	°C		°F	°C		°F	°C		°F
538	1000	1832	816	1500	2732	1093	2000	3632	1371	2500	4532
543	1010	1850	821	1510	2750	1099	2010	3650	1377	2510	4550
549	1020	1868	827	1520	2768	1104	2020	3668	1382	2520	4568
554	1030	1886	832	1530	2786	1110	2030	3686	1388	2530	4586
560	1040	1904	838	1540	2804	1116	2040	3704	1393	2540	4604
566	1050	1922	843	1550	2822	1121	2050	3722	1399	2550	4622
571	1060	1940	849	1560	2840	1127	2060	3740	1404	2560	4640
577	1070	1958	854	1570	2858	1132	2070	3758	1410	2570	4658
582	1080	1976	860	1580	2876	1138	2080	3776	1416	2580	4676
588	1090	1994	866	1590	2894	1143	2090	3794	1421	2590	4694
593	1100	2012	871	1600	2912	1149	2100	3812	1427	2600	4712
599	1110	2030	877	1610	2930	1154	2110	3830	1432	2610	4730
604	1120	2048	882	1620	2948	1160	2120	3848	1438	2620	4748
640	1130	2066	888	1630	2966	1166	2130	3866	1443	2630	4766
616	1140	2084	893	1640	2984	1171	2140	3884	1449	2640	4784
621	1150	2102	899	1650	3002	1177	2150	3902	1454	2650	4802
627	1160	2120	904	1660	3020	1182	2160	3920	1460	2660	4820
632	1170	2138	910	1670	3038	1188	2170	3938	1466	2670	4838
638	1180	2156	916	1680	3056	1193	2180	3958	1471	2680	4856
643	1190	2174	921	1690	3074	1199	2190	3974	1477	2690	4874
649	1200	2192	927	1700	3092	1204	2200	3992	1482	2700	4892
654	1210	2210	932	1710	3110	1210	2210	4010	1488	2710	4910
660	1220	2228	938	1720	3128	1216	2220	4028	1493	2720	4928
666	1230	2246	943	1730	3146	1221	2230	4046	1499	2730	4946
671	1240	2264	949	1740	3164	1227	2240	4064	1504	2740	4964
677	1250	2282	954	1750	3182	1232	2250	4082	1510	2750	4982
682	1260	2300	960	1760	3200	1238	2260	4100	1516	2760	5000
688	1270	2318	966	1770	3218	1243	2270	4118	1521	2770	5018
693	1280	2336	971	1780	3236	1249	2280	4136	1527	2780	5036
699	1290	2354	977	1790	3254	1254	2290	4154	1532	2790	5054
704	1300	2372	982	1800	3272	1260	2300	4172	1538	2800	5072
710	1310	2390	988	1810	3290	1266	2310	4190	1543	2810	5090
716	1320	2408	993	1820	3308	1271	2320	4208	1549	2820	5108

721	1330	2426	999	1830	3326	1277	2330	4226	1554	2830	5126
727	1340	2444	1004	1840	3344	1282	2340	4244	1560	2840	5144
732	1350	2462	1010	1850	3362	1288	2350	4262	1566	2850	5162
738	1360	2480	1016	1860	3380	1293	2360	4280	1571	2860	5180
743	1370	2498	1021	1870	3398	1299	2370	4298	1577	2870	5198
749	1380	2516	1027	1880	3416	1304	2380	4316	1582	2880	5216
754	1390	2534	1032	1890	3434	1310	2390	4334	1588	2890	5234
760	1400	2552	1038	1900	3452	1316	2400	4352	1593	2900	5252
766	1410	2570	1043	1910	3470	1321	2410	4370	1599	2910	5270
771	1420	2588	1049	1920	488	1327	2420	4388	1604	2920	5288
777	1430	2606	1054	1930	3506	1332	2430	4406	1610	2930	5306
782	1440	2624	1060	1940	3524	1338	2440	4424	1616	2940	5324
788	1450	2642	1066	1950	3542	1343	2450	4442	1621	2950	5342
793	1460	2660	1071	1960	3560	1349	2460	4460	1627	2960	5360
799	1470	2678	1077	1970	3578	1354	2470	4478	1632	2970	5378
804	1480	2696	1082	1980	3596	1360	2480	4496	1638	2980	5396
810	1490	2714	1088	1990	3614	1366	2490	4514	1643	2990	5414
			1093	2000	3632				1649	3000	5432

FACTORES DE CONVERSIÓN DE PRESIÓN

1 pulgada agua	=	.07355 pul. mercurio .036 lbs./pul. ² 576 oz./ pul. ²
1 pulgada mercurio	=	13.596 pul agua 1.133 pies agua .489 lbs./ pul. ² 7.855 oz./ pul. ²
1 lb. presión	=	27.78 pul. agua 2.43 in. mercury
1 oz. presión	=	1.736 pul. agua 127 pul. mercurio
1 pie agua	=	883 pul. mercurio .432 lbs./ pul ²

FACTORES DE CONVERSIÓN Y PESO

1 pulgada = 2.540 centímetros

1 centímetro = 0.3937 pulgada

1 pulgada cúbica = 16.387 centímetros cúbicos

1 centímetro cúbico = 0.06102 pulgada cúbica

1 gramo = 0.0022 libras sistema de pesos americano

1 pie = 30.480 centímetros

1 galón = 231 pulgada cúbica

PÉRDIDA DE CALOR/CALCULADORA DE AISLAMIENTO

Figura 1

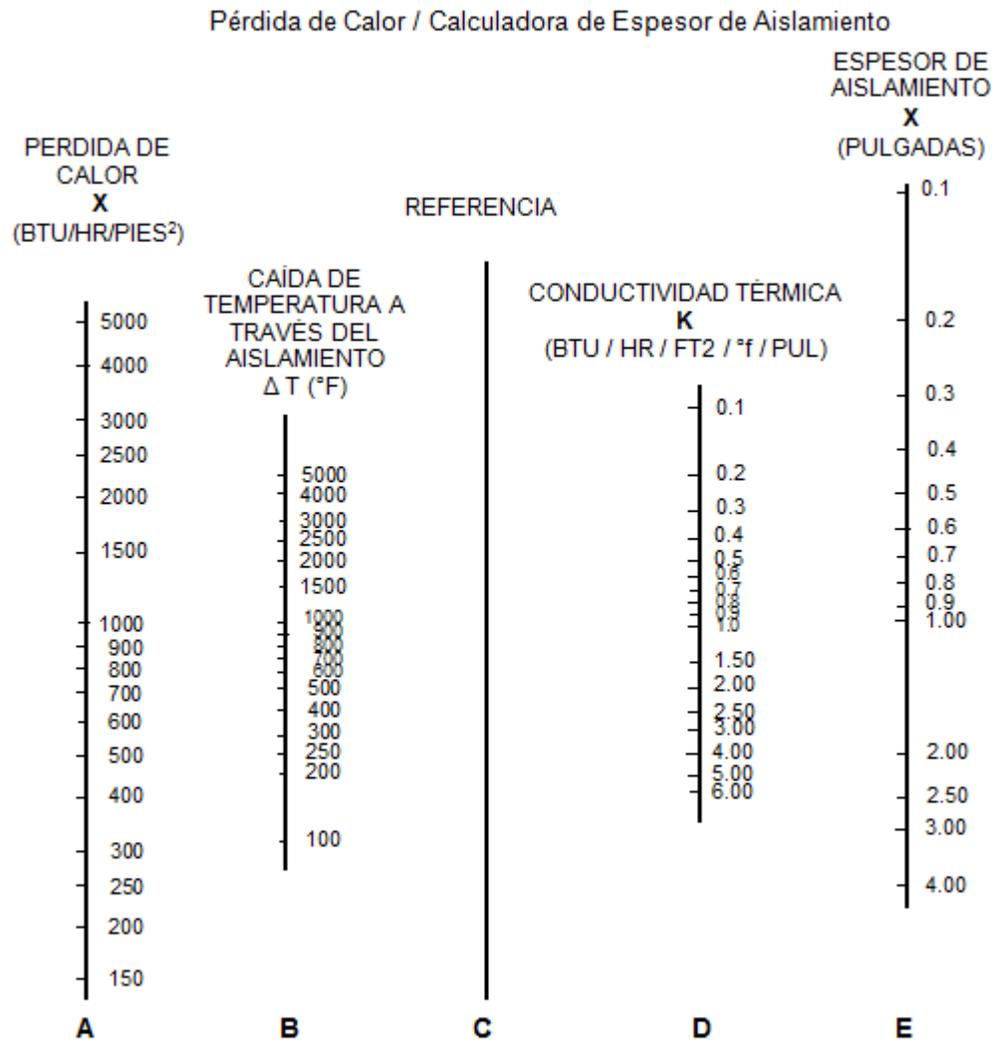
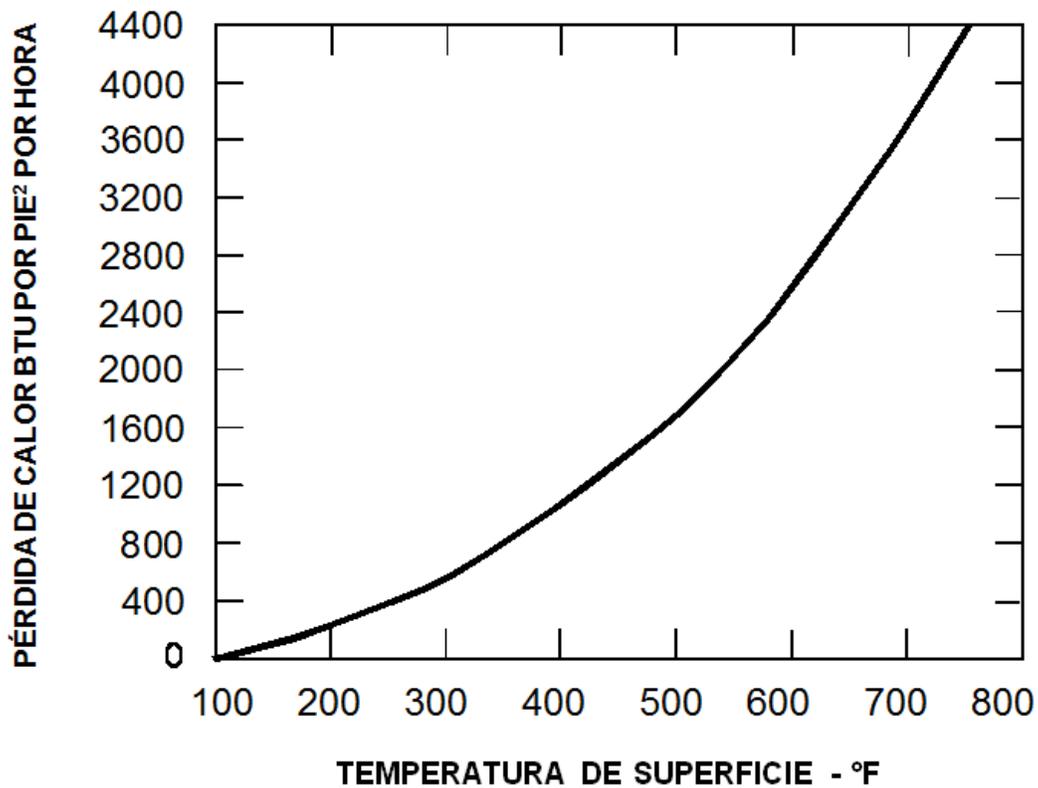


Figura 2



- (1) Seleccione: la temperatura deseada de la pared exterior y estime la pérdida de calor de la Figura 1, o
- (1a) Determine: la pérdida de calor del flujo de calor o de los datos de calor disponibles
- (2) Determine: la caída de la temperatura de las temperaturas deseadas de las paredes internas y externas.
- (3) Obtenga: la media de conductividad de calor a la temperatura promedio de las hojas de datos.
- (4) Conecte: la pérdida de calor (Q) en línea A con la diferencia de temperatura (ΔT) en línea B y extienda una línea de referencia C y marque las intersecciones.
- (5) Conecte: la intersección de la línea C con la conductividad de calor (K) en la línea D y lea el espesor de aislamiento requerido en la línea E.
- (6) El mismo procedimiento permitirá determinar la pérdida de calor (Q), la caída de temperatura (ΔT), conductividad termal - conociendo cualquiera de las tres variables.

ECUACIÓN DE FLUJO DE COMBUSTIÓN

Método simplificado para determinar la combustión de aire requerida para quemar por completo una cantidad dada de combustible.

$$\text{CFH Aire} = \frac{\text{entrada Btu/Hr.}}{100}$$

100

Un volumen correcto de gas de un conjunto de condiciones a otro

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

T_1 T_2 P = presión absoluta

= 14.7 + calibrador lb/pul².

T = temperatura absoluta °R = °F+ 460

V = Volumen en cualquier término constante

Normalmente es útil para determinar los pies cúbicos estándar de combustible consumidos cuando la medida de presión es otra que el estándar; por ejemplo, el paso de gas a través de un medidor de gas volumétrico en 5 lb/pul² relativo. (La válvula de la calefacción de los gases de combustible se basa en Btu/CF en las condiciones estándar del gas.)

Relación de Rechazo de Área de Quemador Fijo

$$\text{T.D.} = \sqrt{\frac{\text{Caída de Presión Máxima a través del quemador}}{\text{Caída de Presión Mínima a través del quemador}}}$$

Cuando la caída de presión se expresa en las mismas unidades.

Relación entre la capacidad de flujo a una caída de presión específica y factor C_v .

C_v = Flujo Factor. Definido como la cantidad del Agua @ 60°F en galones por el minuto que fluirá a través de una válvula en la posición abierta con un punto de presión a través de la válvula de 1 libra por pulgada cuadrada.

Para la capacidad de conversión de gases la fórmula siguiente puede ser utilizada para las relaciones de presión exceptuando las relaciones críticas.

$$Q = 1360 C_v \sqrt{\frac{V(P_1 - P_2) P_2}{GT}}$$

Q = SCFH @ 14.7 lb/ps²absolutas y 60°F.

P_1 = Presión de entrada, LB/PS².

P_2 = Presión de salida, LB/PS².

T = Temperatura de Flujo, °R.

G = Gravedad específica del gas.

ABREVIATURAS PARA LAS UNIDADES MÉTRICAS

C	Grado Centígrado
cal	caloría
cm	centímetro
g	gramo
j, J	joule
kcal, Kcal	kilogramo - caloría
Kg	kilogramo
l	litro
m	metro
mm	milímetro

MÉTRICO A CONVERSIÓN MÉTRICA

Área:	$1 \text{ m}^2 = 10,000 \text{ cm}^2 = 1,000,000 \text{ mm}^2$
Calor:	$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4184 \text{ joules}$
Longitud:	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$
Presión:	$1 \text{ kg/cm}^2 = 10,000 \text{ kg/m}^2 = 1000 \text{ cm H}_2\text{O} = 735.6 \text{ mm Hg} = 0.982 \text{ bars}$
Volumen:	$1 \text{ m}^3 = 1,000,000 \text{ cm}^3 = 999.97 \text{ l}$
Peso:	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$

ÁREA

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$1 \text{ mm}^2 = 0.00155 \text{ pul}^2 = 0.00001076 \text{ pie}^2$$

$$1 \text{ cm}^2 = 0.15 \text{ pul}^2 = 0.001076 \text{ pie}^2$$

$$1 \text{ m}^2 = 1550 \text{ pul}^2 = 10.76 \text{ pie}^2$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$1 \text{ pul}^2 = 645.16 \text{ mm}^2 = 6.452 \text{ cm}^2 = 0.0006452 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ pie}^2 = 92,903 \text{ mm}^2 = 929.03 \text{ cm}^2 = 0.0929 \text{ m}^2$$

DENSIDAD

Sistema Métrico Sistema Ingles

$$1 \text{ g/cm}^3 = 0.036 \text{ lb./pul}^3 = 62.43 \text{ lb./pie}^3$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$1 \text{ lb./pul}^3 = 27.68 \text{ g/cm}^3$$

$$1 \text{ lb./pie}^3 = 0.016 \text{ g/cm}^3$$

CALOR

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$1 \text{ cal} = 0.003967 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ kcal} = 3.967 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ joule} = 0.000948 \text{ Btu}$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$1 \text{ Btu} = 251.996 \text{ cal} = 0.252 \text{ kcal} = 1054.35 \text{ joules}$$

CONTENIDO DE CALOR

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$1 \text{ cal/g} = 1.8 \text{ Btu/lb.}$$

$$1 \text{ cal/g} - ^\circ\text{C} = 1 \text{ Btu/lb.} - ^\circ\text{F}$$

$$1 \text{ cal/cm}^3 = 112.37 \text{ Btu/pie}^3$$

$$1 \text{ kcal/m}^3 = 0.112 \text{ Btu/pie}^3$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$1 \text{ Btu/lb.} = 0.0556 \text{ cal/g}$$

$$1 \text{ Btu/lb.} - ^\circ\text{F} = 1 \text{ cal/g} - ^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ Btu/pie}^3 = 0.8898 \text{ cal/m}^3 = 8.898 \text{ kcal/m}^3$$

FLUJO DE CALOR

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$1 \text{ cal/hr-cm}^2 = 3.687 \text{ Btu/hr-pie}^2$$

$$1 \text{ cal/hr-cm}^2 = 1.082 \text{ watts/pie}^2$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$1 \text{ Btu/hr-pie}^2 = 0.271 \text{ cal hr-cm}^2$$

$$1 \text{ kw/pie}^2 = 925 \text{ cal/hr-cm}^2$$

LONGITUD

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$1 \text{ mm} = 0.03937 \text{ pul} = 0.003281 \text{ pie}$$

$$1 \text{ cm} = 0.3937 \text{ pul} = 0.03281 \text{ pie}$$

$$1 \text{ m} = 39.37 \text{ pul} = 3.281 \text{ pie}$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$1 \text{ pul} = 25.4 \text{ mm} = 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ m}$$

$$1 \text{ pie} = 304.8 \text{ mm} = 30.48 \text{ cm} = 0.3048 \text{ m}$$

PRESIÓN

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 14.21 \text{ lb./pul}^2 = 29.0 \text{ pul Hg} = 393.72 \text{ pul H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ g/cm}^2 = 0.01421 \text{ lb./pul}^2 = 0.2274 \text{ oz/pul}^2 = 0.3936 \text{ pul H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ mm Hg} = 1 \text{ Torr} = 0.01933 \text{ lb./pul}^2$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$1 \text{ lb./pul}^2 = 0.0703 \text{ kg/cm}^2 = 70.306 \text{ g/cm}^2 = 703 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ oz/pul}^2 = 0.00439 \text{ kg/cm}^2 = 4.39 \text{ g/cm}^2 = 44 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ pul H}_2\text{O} = 0.00254 \text{ kg/cm}^2 = 2.54 \text{ g/cm}^2$$

$$1 \text{ pul Hg} = 0.491 \text{ lb./pul}^2 = 25.4 \text{ Torr}$$

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$\begin{aligned} 1 \text{ cal cm/hr-cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} &= .0672 \text{ Btu pie/hr-pie}^2 \cdot ^\circ\text{F} \\ &= 0.807 \text{ Btu-pul/hr-pie}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$\begin{aligned} 1 \text{ Btu ft/hr-pie}^2 \cdot ^\circ\text{F} &= 14.88 \text{ cal cm/hr cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \\ 1 \text{ Btu in/hr-pie}^2 \cdot ^\circ\text{F} &= 1.24 \text{ cal cm/hr-cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

VELOCIDAD

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$\begin{aligned} 1 \text{ cm/sec} &= 0.393 \text{ pul /sec} \\ &= 0.03281 \text{ pie/sec} \\ &= 1.9686 \text{ pie/min} \\ 1 \text{ m/sec} &= 39.37 \text{ pie/sec} \\ &= 3.281 \text{ pie/sec} \\ &= 196.86 \text{ pie/min} \end{aligned}$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$\begin{aligned} 1 \text{ pul/sec} &= 2.54 \text{ cm/sec} = 0.0254 \text{ m/sec} \\ 1 \text{ pie/sec} &= 30.48 \text{ cm/sec} = 0.3048 \text{ m/sec} \\ 1 \text{ pie/min} &= 0.508 \text{ cm/sec} = 0.00508 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

VOLUMEN

Sistema Métrico a Sistema Inglés

$$\begin{aligned} 1 \text{ cm}^3 &= 0.0610 \text{ pul}^3 = 0.034 \text{ U.S. oz fluido} \\ 1 \text{ m}^3 &= 61,020 \text{ pul}^3 = 35.31 \text{ pie}^3 = 264.17 \text{ U.S. gal} \\ 1 \text{ l} &= 61.025 \text{ pul}^3 = 0.0353 \text{ pie}^3 = 0.264 \text{ U.S. gal} \end{aligned}$$

Sistema Inglés a Sistema Métrico

$$\begin{aligned} 1 \text{ pul}^3 &= 16.387 \text{ cm}^3 = 0.00001639 \text{ m}^3 = 0.0164 \text{ l} \\ 1 \text{ pies}^3 &= 28,316.8 \text{ cm}^3 = 0.0283 \text{ m}^3 = 28.316 \text{ l} \\ 1 \text{ U.S. gal} &= 3785.4 \text{ cm}^3 = 0.003785 \text{ m}^3 = 3785 \text{ l} \end{aligned}$$

PESO

Sistema Métrico a Sistema Inglés

1 g = 0.035 oz avdp

1 kg = 35.27 oz avdp = 2.204 lb. avdp

Sistema Inglés a Sistema Métrico

1 oz avdp = 28.35 g = 0.02835 kg

1 lb. avdp = 453.59 g = 0.4536 kg

TEMPERATURA

$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$

$^{\circ}\text{F} = (9/5 ^{\circ}\text{C}) + 32$

$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$

$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$

AREA		
MULTIPLIQUE	POR	A OBTENER
pulgada cuadrada	6.4516	centímetro cuadrado
	0.0645	decímetro cuadrado
	1,273,240	mil circular
centímetro cuadrado	0.1550	pulgada cuadrada
	0.0010764	pie cuadrado
decimétrico cuadrado	15.500	pulgada cuadrada
mil circular	0.0000007854	pulgada cuadrada
pie cuadrado	0.0929	metro cuadrado
MASA		
MULTIPLIQUE	POR	A OBTENER
onza (AV)	28.3495	gramo
gramo	0.03527	onza (Av)
	0.002205	libra (Av)
libra	0.453592	kilogramo
kilogramo	2.20462	libra (Av)

LONGITUD

MULTIPLIQUE	POR	A OBTENER
pulgada	2.540	centímetro
centímetro	0.3937	pulgada
pie	30.48	centímetro
centímetro	0.0328	pie
yarda	0.9144	metro
metro	1.0936	yarda
milla	1.6094	kilómetro
kilómetro	0.6214	milla

CALOR ESPECÍFICO

MULTIPLIQUE	POR	A OBTENER
Btu por libra por °F	1.000	caloria por gramo por °C
	4.186	joule por gramo por °C
caloria por gramo por °C	1.000	Btu por libra por °F
	4.186	joule por gramo por °C
joule por gramo por °C	0.2389	caloria por gramo por °C
	0.2389	Btu por libra por °F
Btu por libra por °F	4186.82	joule por kg por °K
joule por kg por °K	0.0002388	Btu por libra por °F

MISCELÁNEO

MULTIPLICARSE	POR	A OBTENER
galón de Agua (62°F)	8.337	libra de Agua
pie cúbico de Agua (62°F)	62.369	libra de Agua
pulgada de Agua (39.1°F)	0.036127	libra por pulgada cuadrada
pie de Agua (39.1°F)	0.43352	libra por pulgada cuadrada

Referencia

- Manual ASM, Vol. 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, (1990), ASM International, Materials Park, OH 44073-0002, p148 (TABLA 11), p149 (TABLA 12), p 150 (TABLA 13), p 151 (TABLAs 15-18), p 141 (TABLAs 1-2), p 152-153 (TABLA 19), p 227 (TABLA 3), p 843 (TABLA 2)
- Manual ASM, Vol. 4, Heat Treating, (1991), ASM International, Materials Park, OH 44073-0002, p 716-717 (TABLA 3), p 331 (TABLA 4), p 335 (TABLA 5), p 345 (TABLA 7)
- The Aluminum Association, Aluminum Standards & Data 1974-75
- Metals Engineering Institute, "Heat Treatment of Steel", 1957
- Metal Progress (August 1943), Databook (Mid-June 1975), Datasheet (1954)
- Armour Ammonia Division, Armour & Co.
- The United States Steel Corporation
- Carpenter Service Bulletin (Vol. 2, No.9)
- Bethlehem Steel Co. "Modern Steels and Their Properties" (Seventh Edition), (Catalog 107)
- Bethlehem Alloy Steels
- SAE 1959 Handbook, p 55
- "Metals Handbook", (Vol. 2) American Society for Metals, (1964)
- M.A. Grossman, AIME, (February 1942)
- J.Olejnik "Nowoczesne konstrukcje pieców próżniowych w technologii obróbki cieplnej stali HSLA, stali do pracy na gor'co WCLV oraz do nawęglania próżniowego" [Modern vacuum furnace constructions in the processing technology of HSLA steel, WCLV steel and for vacuum carburizing] Przegl' d Mechaniczny No. 2/2005
- M.Korecki – unpublished SWL test results, 2005
- Dr Sommer. "Hardienability 2.0.28 Copyright 2004".
- Eysell F.: Über die Aufkohlung im Unterdruck Bereich, Verfahrensparameter und Anwendung. Elekarowärme. 1976. 12-18.
- Suresh C., Havar J.: Vacuum Carburizing. Western Metal and Aol Conference and Exposition. Los Angeles. 1977.
- Gräfen W., Edenhofer B.: Acetylene Low-pressure Carburising – a Novel and Superior Carburising Technology. Heat Treatment of Metals. 4. 1999. 79-85.
- Prospekt NACHI-FIJKOSHI CORP.: New Type Vacuum Carburizing. Introduction of EN-CARBO Process for Clean, Safety, High Quality and Minimum Operation Cost.

- Kula P., Olejnik J.: "Some Technological Aspects of Vacuum Carburizing". Proc. of the 12th International Federation of Heat Treatment and Surface Engineering Congress. Melbourne. 2000. Vol. 3.195-220.
- Kula P., Olejnik P., Kowalewski J.: "A New Vacuum Carburizing Technology". Heat Treatment Progress. 2-3. 2001. 57-60.
- P – 356754 – Mixture for pressure carburizing.
- E. Yagasaki, R.I. Masel w J.J. Spivey, S.K. Agrawal (Ediars), Specialist Periodical Reports: Catalysis Royal Soc. Chem., London, 1994, 11, 165