


TM
Z5853
.M2
FIME
1980
E85



TM
Z5853
.M2
FIME
1980
E85



1020070558

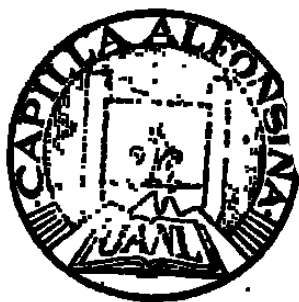
TM
Z5853

.M2

FIME

1980

E85

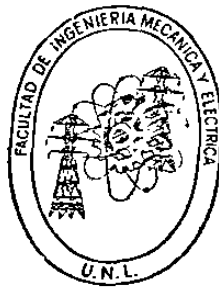


162075

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



DIRECCION GENERAL DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

LA ELECCION DE ACEROS DE HERRAMIENTAS
SEGUN SU APLICACION

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE ING. MECANICA
PRESENTA

José Estrada Rodríguez

MONTERREY, N. L.

NOVIEMBRE DE 1980

EN MEMORIA A MIS PADRES:

A MI ESPOSA: *Que ha sido aliciente en mi camino
hacia la meta.*

A MIS HIJOS: *José y Rodolfo.
Objeto de mi existencia.*

A MIS HERMANAS: Luz Ma., Ma. de Lourdes,
Juana Ines.

AL Ing. Noé Hinojosa Treviño.

Con todo respeto.

A TODOS MIS COMPANEROS.

A MIS SOBRINAS:

Lucy y Katy.

LA ELECCION DE ACEROS DE HERRAMIENTAS SEGUN SU APLICACION

RESUMEN

Esta charla se divide en dos partes:

- panorámica internacional de aceros de herramientas;*
- criterios básicos para la elección de un acero de herramientas según su aplicación.*

Se consideran los criterios fundamentales que deben seguirse para la elección de los tipos de aceros de herramientas según su aplicación. No se desciende, como es lógico, a los casos particulares, sino que se exponen directrices generales de elección dentro de los grupos principales de aceros de herramientas. Fundamentalmente tales criterios se apoyan en la contraposición de dos propiedades fundamentales de un acero de herramientas, que son la tenacidad y la resistencia al desgaste. Se divide el campo de los aceros de herramientas en los grupos siguientes:

Aceros al carbono y ligeramente aleados

*Aceros para trabajos
en frío* *baja aleación, temple al
aceite, media aleación -
(5% Cr), alto carbono, -
alto cromo.*

Aceros para trabajos de choque

Aceros rápidos *al tungsteno
al molibdeno
alto C y alto V
superrápidos.*

*Aceros para trabajos
en caliente* *Al, Cr-Ni-Mo,
media aleación, al Cr-Mo,
al tungsteno.*

*Aceros para moldes
(plásticos y metales)* *aceros de cementación
aceros de construcción
aceros inoxidables.
aceros propiamente de herra-
mientas*

INTRODUCCION

Se estima, de modo general, en los países industrializados, que el 80% de los fallos que se producen en las herramientas de acero proceden de alguno de los factores siguientes:

- elección del tipo de acero;
- confección de la herramienta comprendiendo su conformación mecánica y su tratamiento térmico.
- uso de la herramienta en servicio.

Una herramienta comporta una composición química, una estructura metalográfica y unas propiedades mecánicas que son los tres pilares fundamentales de su calidad. Pero de nada sirve preparar un instrumento perfecto si no es el más adecuado al empleo a que se destina o si su utilización no se hace con las debidas precauciones. El avión Concorde es una maravilla de precisión -- pero no servirá para ir a la Luna. También lo son los cohetes Apolo, pero a nadie se le ocurriría utilizarlos para el vuelo Madrid-Barcelona.

Muchas veces no resulta fácil decidir el mejor tipo de acero de herramientas para una aplicación concreta, pues se contraponen las exigencias requeridas. Hay -

que llegar a establecer compromisos sacrificando las --- propiedades menos fundamentales. A través de los servicios de asistencia técnica, los aceristas hemos comprendido la dificultad del problema de la elección de un acero de herramientas, que obliga, en ocasiones, a realizar ensayos exploratorios antes de llegar a la decisión-
óptima.

EL PANORAMA DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS EN LOS PAISES- MAS AVANZADOS

Una de las pruebas de que la elección de un acero de herramientas para una aplicación determinada no es un asunto siempre sencillo, es la diversidad de las - clasificaciones y de los tipos de acero en los países -- industrializados (aunque haya una concordancia de fondo) según las circunstancias particulares, entre las que una - de las más importantes es la costumbre que se arraiga -- fuertemente y hace que, independientemente de otras consideraciones técnicas, se mantengan en ocasiones clases- de aceros que podrían sustituirse fácilmente por otras - de aplicación más general, lo que permitirá simplificar- las tipificaciones. La gran inercia del usuario se manifiesta más acentuadamente en el campo de los aceros de - herramientas que en el de los de construcción. Esta fi-

delidad a lo ya establecido, que puede llegar a ser, si se exagera, un perjudicial inmovilismo, se hace extensiva a las marcas o a los proveedores.

En las dos últimas décadas se han producido, - sin embargo, apreciables avances al conocerse mejor las propiedades metalúrgicas de los aceros y la tecnología - de su fabricación y tratamiento térmico. También ha habido una tendencia hacia la simplificación, disminuyendo el número de aceros, pero sin dejar, por ello, de responder a toda la gama de necesidades del mercado consumidor. Las ventajas que de este punto derivan son evidentes:

- a) Para el fabricante, porque al tener que producir menor número de tipos de acero se llega a un mejor -- conocimiento de las técnicas de elaboración y se obtiene una calidad y más regular. Y es seguro que - este aspecto podría tener repercusión en los pre---cios pues si se llegara a una situación del mercado con gran consumo de unos pocos aceros, los costos - de producción disminuirían;
- b) Para almacenista. A diferencia de los aceros de -- construcción que pasan en muchas ocasiones directamente del productor al usuario, una gran parte de - los aceros de herramientas atraviesan el estadio --

intermedio del almacenista. Este verá facilitada su labor con la simplificación, pues con menos stock-y, por tanto, con menor capital inmovilizado-podrá cumplir las exigencias del mercado;

- d) para el usuario que se beneficiará en último término de las ventajas anteriores, encontrando siempre en almacén los tipos y dimensiones que necesite.

Como ejemplos de la tendencia a la simplificación diremos que la tipificación AISI. (American Iron and Steel Institute, USA) comprendía 85 tipos de aceros de herramientas en 1963, que han sido rebajados a 76 en 1970. En Alemania existían recogidos en las Stahl-Eisen-Werkstoffblatt de 1963, 13 clases de aceros rápidos que en la lista de 1969 se han convertido en 9.

En las tablas 1 a 5 representamos la situación actual de las normalizaciones y tipificaciones de aceros de herramientas en Alemania, Francia, Inglaterra, Rusia y Estados Unidos, países que pueden considerarse como los más representativos en cualquier tecnología.

Tabla 1

Tipificación alemana (VDE) de aceros de herramientas

(los aceros al carbono y los de trabajo en caliente corresponden a 1963. Los de trabajo en frío y los rápidos a 1969)

	Simbolo	Núm. DIN	% C	% Si	% Mn	máx % P	máx % S	% Cr	% Mo	% Ni	% V	% W	
Aceros al carbono	Clase 1	C 125 W 1	1.1560	1,25	0,10/0,25	0,10/0,25	0,025	0,025	—	—	—	—	—
		C 110 W 1	1.1550	1,10	0,10/0,25	0,10/0,25	0,025	0,025	—	—	—	—	—
		C 100 W 1	1.1540	1,00	0,10/0,25	0,10/0,25	0,025	0,025	—	—	—	—	—
		C 85 W 1	1.1530	0,85	0,10/0,25	0,10/0,30	0,025	0,025	—	—	—	—	—
		C 70 W 1	1.1520	0,70	0,10/0,25	0,10/0,35	0,025	0,025	—	—	—	—	—
	Clase 2	C 125 W 2	1.1660	1,25	0,10/0,30	0,10/0,35	0,030	0,030	—	—	—	—	—
		C 110 W 2	1.1650	1,10	0,10/0,30	0,10/0,35	0,030	0,030	—	—	—	—	—
		C 100 W 2	1.1640	1,00	0,10/0,30	0,10/0,35	0,030	0,030	—	—	—	—	—
		C 85 W 2	1.1630	0,85	0,10/0,30	0,10/0,35	0,030	0,030	—	—	—	—	—
		C 70 W 2	1.1620	0,70	0,10/0,30	0,10/0,35	0,030	0,030	—	—	—	—	—
	Clase 3	C 90 W 3	1.1760	0,90	0,15/0,40	0,40/0,60	0,035	0,035	—	—	—	—	—
		C 75 W 3	1.1750	0,75	0,15/0,40	0,60/0,80	0,035	0,035	—	—	—	—	—
		C 67 W 3	1.1744	0,67	0,15/0,40	0,60/0,80	0,035	0,035	—	—	—	—	—
		C 60 W 3	1.1740	0,60	0,15/0,40	0,60/0,80	0,035	0,035	—	—	—	—	—
		C 45 W 3	1.1730	0,45	0,15/0,40	0,60/0,80	0,035	0,035	—	—	—	—	—
		C 35 W 3	1.1720	0,35	0,15/0,40	0,40/0,60	0,035	0,035	—	—	—	—	—
	Aplicaciones especiales	C 87 WS	1.1840	0,85	0,25/0,40	0,50/0,70	0,025	0,020	—	—	—	—	—
		C 85 WS	1.1830	0,85	0,25/0,40	0,50/0,70	0,025	0,025	—	—	—	—	—
C 80 WS		—	0,80	0,08/0,15	0,20/0,32	0,030	0,030	—	—	—	—	—	
C 55 WS		1.1820	0,55	< 0,15	0,30/0,50	0,030	0,030	—	—	—	—	—	
C 15 WS (cement)		1.1805	0,15	0,15/0,35	0,25/0,50	0,030	0,030	—	—	—	—	—	
Aceros para trabajo en frío	X 210 Cr 12	1.2080	2,00	0,3	0,3	—	—	12,0	—	—	—	—	
	X 210 Cr W 12	1.2436	2,00	0,3	0,3	—	—	12,0	—	—	—	0,7	
	X 165 Cr Mo V 12	1.2601	1,65	0,3	0,3	—	—	12,0	0,6	—	0,1	0,5	
	115 Cr V 3	1.2210	1,15	0,2	0,3	—	—	0,7	—	—	0,1	—	
	100 Cr 6	1.2067	1,00	0,3	0,3	—	—	1,5	—	—	—	—	
	145 V 33	1.2838	1,45	0,3	0,4	—	—	—	—	—	3,3	—	
	21 Mn Cr 5	1.2162	0,21	0,3	1,3	—	—	1,2	—	—	—	—	
	90 Mo V 8	1.2842	0,90	0,2	2,0	—	—	0,3	—	—	0,1	—	
	105 W Cr 6	1.2419	1,05	0,2	1,0	—	—	1,0	—	—	—	1,2	
	80 W Cr V 8	1.2552	0,80	0,5	0,4	—	—	1,1	—	—	0,3	2,0	
	60 W Cr V 7	1.2550	0,60	0,6	0,3	—	—	1,1	—	—	0,2	2,0	
	45 W Cr V 7	1.2542	0,45	1,0	0,3	—	—	1,1	—	—	0,2	2,0	
	35 W Cr V 7	1.2541	0,35	1,0	0,3	—	—	1,1	—	—	0,2	2,0	
	54 Ni Cr Mo V 6	1.2711	0,54	0,3	0,6	—	—	0,7	0,3	1,7	0,1	—	
	50 Ni Cr 13	1.2721	0,50	0,3	0,5	—	—	1,1	—	3,3	—	—	
45 Ni Cr Mo 4	1.2767	0,45	0,2	0,4	—	—	1,4	0,3	4,1	—	0,5		
19 Ni Cr Mo 4	1.2764	0,19	0,2	0,4	—	—	1,3	0,2	4,3	—	0,4		

* 0,3 % Cr opcional

** W opcional en vez de Mo

Tabla 1

Tipificación alemana (VDE) de aceros de herramientas.

(continuación)

	Símbolo	Num. DIN	% C	% Si	% Mn	% Co	% Cr	% Mo	% Ni	% V	% W	
Aceros para trabajos en caliente	Grupo 1											
	X 30 W Cr Co V 9 3	1.2662	0,30	0,2	0,3	2,0	2,4	—	—	0,3	8,5	
	X 30 W Cr V 9 3	1.2581	0,30	0,2	0,3	—	2,6	—	—	0,4	8,5	
	X 30 W Cr V 5 3	1.2567	0,30	0,2	0,3	—	2,4	—	—	0,6	4,3	
	35 W Cr V 7	1.2541	0,35	1,0	0,3	—	1,1	—	—	0,2	2,0	
	45 W Cr V 7	1.2542	0,45	1,0	0,3	—	1,1	—	—	0,2	2,0	
	45 W Cr V 7 7	1.2547	0,45	1,0	0,3	—	1,7	—	—	0,2	2,0	
	Grupo 2											
	X 37 Cr Mo W 5 1	1.2606	0,37	1,0	0,5	—	5,3	1,5	—	0,2	1,3	
	45 Cr V Mo W 5 8	1.2603	0,45	0,6	0,4	—	1,5	0,5	—	0,8	0,5	
	X 32 Cr Mo V 3 3	1.2365	0,32	0,3	0,3	—	3,0	2,8	—	0,5	—	
	X 38 Cr Mo V 5 1	1.2343	0,38	1,0	0,4	—	5,3	1,1	—	0,4	—	
	X 40 Cr Mo V 5 1	1.2344	0,40	1,0	0,4	—	5,3	1,4	—	1,0	—	
	48 Cr Mo V 6 7	1.2323	0,48	0,3	0,7	—	1,5	0,7	—	0,3	—	
	40 Cr Mn Mo 7	1.2311	0,40	0,3	1,5	—	2,0	0,2	—	—	—	
Grupo 3												
57 Ni Cr Mo V 7 7	1.2744	0,55	0,3	0,7	—	1,0	0,8	1,7	0,1	—		
56 Ni Cr Mo V 7	1.2714	0,55	0,3	0,7	—	1,0	0,5	1,7	0,1	—		
55 Ni Cr Mo V 6	1.2713	0,55	0,3	0,6	—	0,7	0,3	1,7	0,1	—		
60 Mn Si 4	1.2826	0,60	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—		
Aceros rápidos	S-3-3-2	1.3333	0,95/1,03	—	—	—	3,8/4,5	2,5/2,8	—	2,2/2,5	2,7/3,0	
	S-6-5-2	1.3343	0,89/0,92	—	—	—	3,8/4,5	4,7/5,2	—	1,7/2,0	6,0/6,7	
	SC-6-5-2	1.3342	0,95/1,05	—	—	—	3,8/4,5	4,7/5,2	—	1,7/2,0	6,0/6,7	
	S-6-5-3	1.3344	1,17/1,27	—	—	—	3,8/4,5	4,7/5,2	—	2,7/3,2	6,0/6,7	
	S-6-5-2-5	1.3243	0,88/0,96	—	—	4,5/5,0	3,8/4,5	4,7/5,2	—	1,7/2,0	6,0/6,7	
	S-7-4-2-5	1.3246	1,05/1,15	—	—	4,8/5,2	3,8/4,5	3,6/4,0	—	1,7/1,9	6,6/7,1	
	S-10-4-3-10	1.3207	1,20/1,35	—	—	10,0/11,0	3,8/4,5	3,5/4,0	—	3,0/3,5	9,5/11,0	
	S-12-1-4-5	1.3202	1,30/1,45	—	—	4,5/5,0	3,8/4,5	0,7/1,0	—	3,5/4,0	11,5/12,5	
	S-18-1-2-5	1.3255	0,75/0,83	—	—	4,5/5,0	3,8/4,5	0,5/0,8	—	1,4/1,7	17,5/18,5	

NOTA: En esta tipificación alemana no incluimos los aceros para aplicaciones especiales ni los aceros moldados.

Tabla 2

Normalización francesa AFNOR de aceros de herramienta (1969)

Clase 1: aceros no aleados para trabajo en frío

Símbolo	Número	% C	% Mn	% Si	P, S máx	Cr	V
<i>Subgrupo 110: aceros extrafinos al carbono</i>							
Y ₁ 120	1101	1,20	0,10/0,30	0,10/0,25	0,020	—	—
Y ₁ 105	1102	1,05	0,10/0,30	0,10/0,25	0,020	—	—
Y ₁ 90	1103	0,90	0,10/0,30	0,10/0,25	0,020	—	—
Y ₁ 75	1104	0,75	0,10/0,30	0,10/0,25	0,020	—	—
Y ₁ 65	1105	0,65	0,30/0,30	0,10/0,25	0,020	—	—
<i>Subgrupo 116: aceros extrafinos al C-V</i>							
Y ₁ xx V	1161	Iguales contenidos en C, Mn. y Si que para el subgru- po 110			0,020	—	0,05/0,25
— —	1165						
<i>Subgrupo 120: aceros finos al carbono</i>							
Y ₂ 135	1200	1,35	0,10/0,40	0,10/0,30	0,25	—	—
Y ₂ 120	1201	1,20	0,10/0,40	0,10/0,30	0,25	—	—
Y ₂ 105	1202	1,05	0,10/0,40	0,10/0,30	0,25	—	—
Y ₂ 90	1203	0,90	0,10/0,40	0,10/0,30	0,25	—	—
Y ₂ 75	1204	0,75	0,10/0,40	0,10/0,30	0,25	—	—
<i>Subgrupo 123: aceros finos al C-Cr</i>							
Y ₂ xx C	1230	Iguales contenidos en C, Mn y Si que para el subgru- po 120			0,025	0,25/0,50	
— —	1234						
<i>Subgrupo 130: aceros de uso general</i>							
Y ₂ 90	1303	0,90	0,40/0,60	0,15/0,40	0,35	—	—
Y ₂ 75	1304	0,75	0,60/0,80	0,15/0,40	0,35	—	—
Y ₂ 65	1305	0,65	0,60/0,80	0,15/0,40	0,35	—	—
Y ₂ 55	1306	0,55	0,60/0,80	0,15/0,40	0,35	—	—
Y ₂ 45	1307	0,45	0,60/0,80	0,15/0,40	0,35	—	—
Y ₂ 35	1308	0,35	0,50/0,70	0,15/0,40	0,35	—	—
Y ₂ 12	1309	0,17	0,30/0,60	0,15/0,40	0,35	—	—

Tabla 2

Normalización francesa AFNOR de aceros de herramientas
(continuación)

Clase 2: aceros aleados para trabajo en frío

Símbolo	Número	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	% Mo	% W	% V	% Co
<i>Grupo 21: aceros resistentes al desgaste</i>										
140 SMD 4	2121	1,4	1,0	1,0	—	—	0,3	—	—	—
100 C 3	2131	1,0	0,3	0,3	—	0,75	—	—	(0,15)	—
140 C 3	2132	1,4	<0,3	<0,3	—	0,75	—	—	(0,15)	—
Y 100 C 6	2133	1,0	0,3	0,3	—	1,5	—	—	(0,15)	—
100 WC 10	2141	1,0	0,3	0,3	—	0,5	—	1,0	(0,2)	—
110 WC 20	2142	1,1	0,3	0,3	—	0,75	—	2,0	—	—
<i>Grupo 22: aceros llamados indeformables</i>										
90 MV 8	2211	0,9	2,0	0,3	—	—	—	—	0,2	—
90 MCW 5	2212	0,9	1,25	0,3	—	0,5	—	0,5	—	—
Z 100 CDV 5	2231	1,0	0,3	0,3	—	5,0	1,0	—	0,3	—
Z 200 C 12	2233	2,0	0,3	0,3	—	12,0	—	—	—	—
Z 200 CD 12	2234	2,0	0,3	0,3	—	12,0	0,8	—	(0,2)	—
Z 160 CDV 12	2235	1,6	0,3	0,3	—	12,0	0,8	—	0,4	—
Z 180 CKD 12.03	2236	1,8	0,3	0,3	—	12,0	0,8	—	(0,5)	3,0
Z 230 CDV 12.04	2237	2,3	0,3	0,3	—	12,0	1,0	—	4,0	—
<i>Grupo 23: aceros resistentes a los choques</i>										
Y 45 S 7	2321	0,45	0,6	1,8	—	—	—	—	—	—
Y 55 S 7	2322	0,55	0,8	1,8	—	(0,45)	—	—	—	—
Y 60 SC 7	2323	0,60	0,8	1,7	—	0,6	—	—	—	—
Y 45 SCD 6	2324	0,45	0,6	1,5	—	0,6	0,2	—	—	—
Y 42 CD 4	2331	0,42	0,8	0,5	—	1,0	0,2	—	—	—
Y 50 CV 4	2332	0,50	0,8	0,3	—	1,0	—	—	0,15	—
55 WC 20	2341	0,55	0,3	1,0	—	1,0	—	2,0	—	—
<i>Grupo 27: aceros resistentes a ciertas corrosiones</i>										
Z 70 C 15	2731	0,7	0,3	0,3	<0,5	15,0	—	—	—	—
Z 40 C 14	2732	0,4	0,3	0,3	<0,5	14,0	—	—	—	—
Z 30 C 13	2733	0,3	0,3	0,3	<0,5	13,0	—	—	—	—
<i>Grupo 28: acero para hincado en frío</i>										
Z 8 CDV 5	2831	0,08	0,3	0,2	—	5,0	1,0	—	0,3	—
Y 10 NC 6	2881	0,10	0,7	0,3	1,5	1,0	—	—	—	—
10 NC 12	2882	0,10	0,4	0,3	3,0	0,8	—	—	—	—

NOTA: Las cifras entre parentesis significan que la adición del elemento correspondiente es opcional

2.
Tabla 2

Normalización francesa AFNOR de aceros de herramientas
(continuación)

Clase 3: aceros aleados para trabajo en caliente

Símbolo	Número	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	% Mo	% W	% V	% Co	% Ti
<i>Grupo 33: aceros resistentes a los choques mecánicos</i>											
45 CDV 6	3331	0,45	0,3	0,3	—	1,5	0,8	—	0,25	—	—
55 NCDV 7	3381	0,55	0,6	0,3	1,75	0,8	0,3	—	0,2	—	—
Y 35 NCD 16	3382	0,35	0,4	0,3	4,0	1,8	0,4	—	(0,1)	—	—
32 NCD 18.12	3383	0,32	0,3	0,3	4,5	0,5	1,2	—	—	—	—
<i>Grupo 34: aceros resistentes a los choques térmicos</i>											
Z 38 CDV 5	3431	0,38	0,3	1,0	—	5,0	1,25	—	0,5	—	—
Z 38 CDWV 5	3432	0,38	0,3	1,0	—	5,0	1,25	1,25	0,5	—	—
30 DCV 28	3451	0,30	0,3	0,3	—	2,8	2,8	—	0,5	—	—
30 DCKV 28	3452	0,30	0,3	0,3	—	2,8	2,8	—	0,5	2,5	—
20 DN 32.12	3455	0,20	0,5	0,3	3,0	—	3,2	—	—	—	—
<i>Grupo 35: aceros resistentes al desgaste a alta temperatura</i>											
Z 40 WCV 5	3543	0,40	0,3	0,3	—	4,0	(0,5)	5,0	0,5	—	—
Z 30 WCV 9	3543	0,30	0,3	0,3	—	3,0	—	9,0	0,4	—	—
Z 25 WCKDV 9	3545	0,20	0,3	0,6	—	2,5	1,0	8,5	0,4	2,0	—
Z 60 WCV 18	3547	0,60	0,2	0,3	—	4,25	—	18,0	1,0	—	—
Z 65 WDCV 6.05	3548	0,65	0,3	0,3	—	4,0	5,0	6,0	2,0	—	—
80 DCV 42.16	3551	0,80	0,4	0,3	—	4,0	4,25	—	1,0	—	—
<i>Grupo 36: aceros resistentes a muy alta temperatura (austeníticos)</i>											
Z 12 CNS 25.20	3632	0,12	1,5	1,5	20,0	25,0	—	—	—	—	—
Z 12 NCS 37.18	3636	0,12	1,5	2,0	37,0	18,0	—	—	—	—	—
Z 6 NCT 25.15	3682	0,06	1,5	0,6	25,0	15,0	1,25	—	0,3	—	2,0

Tabla 2

Normalización francesa AFNOR de aceros de herramientas
(continuación)

Clase 4: aceros rápidos

Símbolo	Número	% C	% Cr	% W	% Mo	% V	% Co
<i>Grupo 41: aceros de 12% tungsteno</i>							
Z 80 WCDV 12-04-02-02	12-2-2	0,8	4	12	2	2	—
Z 130 WCV 12-04-04	12-0-4	1,3	4	12	(0,5)	3,5	—
Z 150 WKVC 12-05-05-04	12-0-5-5	1,5	4	12	(0,5)	5	5
Z 165 WKVC 12-10-05-04	12-0-5-10	1,65	4	12	(1,0)	5	10
<i>Grupo 42: aceros de 18% de tungsteno</i>							
Z 80 WCV 18-04-01	18-0-1	0,80	4	18	(0,5)	1	—
Z 85 WCV 18-04-02	18-0-2	0,85	4	18	(0,5)	2	—
Z 80 WKCV 18-05-04-01	18-0-1-5	0,80	4	18	(1,0)	1	5
Z 80 WKCV 18-10-04-02	18-0-2-10	0,80	4	18	(1,0)	1,6	10
<i>Grupo 43: aceros al tungsteno molibdeno</i>							
Z 85 WDCV 06-05-04-02	6-5-2	0,85	4	6	5	2	—
Z 130 WDCV 06-05-04-04	6-5-4	1,30	4	5,5	4,5	4	—
Z 85 WDKCV 06-05-05-04-01	6-5-2-5	0,85	4	6	5	2	5
Z 150 WDKVC 07-05-05-05-04	7-5-5-5	1,50	4	6,5	5	5	5
Z 175 KWDVC 10-07-05-05-04	7-5-5-10	1,75	4	6,5	5	5	10
<i>Grupo 44: aceros al molibdeno</i>							
Z 85 DCWV 08-04-02-02	2-8-2	0,85	4	2	8	1,5	—
Z 110 DKCWV 09-08-04-02-01	2-9-1-8	1,10	4	1,5	9	1	8

Tabla 3

Normalización inglesa (British Standard) de aceros de herramientas (1971)

	Simbolo	% C	% Si	% Mn	% Ni	% Cr	% Mo	% V	% W	% Co
en car. (bueno)	BW 1 A	0,85/0,95	—/0,30	—/0,35	—/0,20	—/0,15	—/0,10	—	—	—
	BW 1 B	0,95/1,1	—/0,30	—/0,35	—/0,20	—/0,15	—/0,10	—	—	—
	BW 1 C	1,1/1,3	—/0,30	—/0,35	—/0,20	—/0,15	—/0,10	—	—	—
	BW 2	0,95/1,1	—/0,30	—/0,35	—/0,20	—/0,15	—/0,10	0,15/0,35	—	—
alto cromo	BD 3	1,4/1,6	—/0,60	—/0,60	—	11,5/12,5	0,7/1,2	0,25/1,0	—	—
	BD 2 A	1,6/1,9	—/0,60	—/0,60	—	12/13	0,7/0,9	0,25/1,0	—	—
	BD 3	1,9/2,3	—/0,60	—/0,60	—	1,2/1,3	—	—/0,50	—	—
temple al nitró	BA 2	0,95/1,05	—/0,40	0,3/0,7	—	4,75/5,25	0,9/1,1	0,15/0,4	—	—
	BA 6	0,65/0,75	—/0,40	1,8/2,1	—	0,85/1,15	1,2/1,6	—	—	—
en aceite	BO 1	0,85/1,0	—/0,40	1,1/1,35	—	0,4/0,6	—	—/0,25	0,4/0,6	—
	BO 2	0,85/0,95	—/0,40	1,5/1,8	—	—	—	—	—	—
	BS 1	0,45/0,55	0,7/1,0	0,3/0,7	—	1,2/1,7	—	0,1/0,3	2,0/2,5	—
	BS 2	0,45/0,55	0,9/1,2	0,3/0,5	—	—	0,3/0,6	0,1/0,3	—	—
	BS 5	0,50/0,60	1,6/2,1	0,6/0,8	—	—	0,3/0,6	0,1/0,3	—	—
	BH 10	0,30/0,4	—/1,1	—/0,4	—	2,8/3,2	2,65/2,95	0,3/0,5	—	—
	BH 10 A	0,30/0,4	—/1,1	—/0,4	—	2,8/3,2	2,65/2,95	0,3/1,1	—	2,8/3,2
	BH 11	0,32/0,42	0,85/1,15	—/0,4	—	4,75/5,25	1,25/1,75	0,3/0,5	—	—
	BH 12	0,3/0,4	0,85/1,15	—/0,4	—	4,75/5,25	1,25/1,75	—/0,5	1,25/1,75	—
	BH 13	0,32/0,42	0,85/1,15	—/0,4	—	4,75/5,25	1,25/1,75	0,9/1,1	—	—
	BH 19	0,35/0,45	—/0,4	—/0,4	—	4,0/4,5	—/0,45	2,0/2,4	4,0/4,5	4,0/4,5
tem	BH 21	0,25/0,35	—/0,4	—/0,4	—	2,25/3,25	—/0,6	—/0,4	8,5/10,0	—
	BH 21 A	0,2/0,3	—/0,4	—/0,4	2,0/2,5	2,25/3,25	—/0,6	—/0,5	8,5/10,0	—
	BH 26	0,5/0,6	—/0,4	—/0,4	—	3,75/4,5	—/0,6	1,0/1,5	17,5/18,5	—

Tabla 3

Normalización inglesa [British Standard] de aceros de herramientas (continuación)

		Simbolo	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% W	% V	% Co
Aceros rápidos	al manganeso	BM 1	0,75/0,85	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	8,0/9,0	1,0/2,0	1,0/1,25	—/0,6
		BM 2	0,80/0,9	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	4,75/5,5	6,0/6,75	1,75/2,05	—
		BM 4	1,25/1,4	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	4,25/5,0	5,75/6,5	3,75/4,25	—
		BM 15	1,45/1,6	—/0,4	—/0,4	4,5/5,0	2,75/3,25	6,25/7,0	4,75/5,25	4,5/5,5
		BM 34	0,85/0,95	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	8,0/9,0	1,7/2,2	1,75/2,05	7,75/8,75
		BM 42	1,0/1,1	—/0,4	—/0,4	3,5/4,25	9,0/10,0	1,0/2,0	1,0/1,3	7,5/8,5
	al tungsteno	BT 1	0,7/0,8	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	—/0,7	17,5/18,5	1,0/1,25	—/0,6
		BT 2	0,75/0,85	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	—/0,7	17,5/18,5	1,75/2,05	—/0,6
		BT 4	0,7/0,8	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	—/1,0	17,5/18,5	1,0/1,25	4,5/5,5
		BT 5	0,75/0,85	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	—/1,0	18,5/19,5	1,75/2,05	9,0/10,0
		BT 6	0,75/0,85	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	—/1,0	20,0/21,0	1,25/1,75	11,25/12,25
		BT 15	1,4/1,6	—/0,4	—/0,4	4,25/5,0	—/1,0	12,0/13,0	4,75/5,25	4,5/5,5
		BT 20	0,75/0,85	—/0,4	—/0,4	4,25/5,0	—/1,0	21,0/22,5	1,4/1,6	—/0,60
		BT 21	0,6/0,7	—/0,4	—/0,4	3,5/4,25	—/0,7	13,5/14,5	0,4/0,6	—/0,60
BT 42	1,25/1,4	—/0,4	—/0,4	3,75/4,5	2,75/3,5	8,5/9,5	2,75/3,25	9,0/10,0		
Aceros para usos especiales	baja aleación	BL 3	0,95/1,05	—/0,4	—/0,4	1,3/1,5	—	—	0,10/0,30	—
	al carbono tungsteno	BF 1'	1,15/1,35	—/0,4	—/0,4	0,25/0,5	—	1,3/1,6	—/0,3	—

Tabla 4

Tipificación americana AISI (1970)

	Símbolo	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	Otros	
Temple al agua (al car- bón)	W1	0,60 a 1,40	—	—	—	—	—	
	W2	0,60 a 1,40	—	—	—	0,25	—	
	W5	1,10	—	—	0,50	—	—	
Aceros para trabajos en frío	temple en aceite	O1	0,90	0,50	—	0,50	—	1,00 Mn
		O2	0,90	—	—	—	—	1,60 Mn
		O6	1,45	—	0,25	—	—	1,00 Si
		O7	1,20	1,75	—	0,75	—	—
	media atención temple al aire	A2	1,00	—	1,00	5,00	—	—
		A3	1,25	—	1,00	5,00	1,00	—
		A4	1,00	—	1,00	1,00	—	2,00 Mn
		A6	0,70	—	1,00	1,25	—	2,00 Mn
		A7	2,25	(1,00)	1,00	5,25	4,75	—
		A8	0,55	1,25	1,25	5,00	—	—
	alto carbono, alto cromo	D2	1,50	—	1,00	12,00	1,00	—
		D3	2,25	—	—	12,00	—	—
		D4	2,25	—	1,00	12,00	—	—
Aceros para chuchos	S1	0,50	2,50	—	1,50	—	—	
	S2	0,50	—	0,50	—	—	1,00 Si	
	S5	0,55	—	0,40	—	—	0,80 Mn/2,00 Si	
	S7	0,50	—	1,40	3,25	—	—	
Aceros para trabajos en caliente	al cromo	H10	0,40	—	2,50	3,25	0,40	—
		H11	0,35	—	1,50	5,00	0,40	—
		H12	0,35	1,50	1,50	5,00	0,40	—
		H13	0,35	—	1,50	5,00	1,00	—
		H14	0,40	5,00	—	5,00	—	—
	al tungsteno	H19	0,40	4,25	—	4,25	2,00	4,25 Co
		H21	0,35	9,00	—	3,50	—	—
		H22	0,35	11,00	—	2,00	—	—
		H23	0,30	12,00	—	12,00	—	—
		H24	0,45	15,00	—	3,00	—	—
		H25	0,25	15,00	—	4,00	—	—
	al molibdeno	H26	0,50	18,00	—	4,00	1,00	—
		H41	0,65	1,50	8,00	4,00	1,00	—
H42		0,60	6,00	5,00	4,00	2,00	—	
	H43	0,55	—	8,00	4,00	2,00	—	

NOTA: Las cifras entre parentesis indican que la adición del elemento correspondiente es opcional.

Tabla 4

Tipificación americana AISI (1970) (continuación)

	Símbolo	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	Otros	
Aceros rápidos	al tungsteno	T1	0,70	18,00	—	4,00	1,00	—
		T2	0,80	18,00	—	4,00	2,00	—
		T4	0,75	18,00	—	4,00	1,00	5,00 Co
		T5	0,80	18,00	—	4,00	2,00	8,00 Co
		T6	0,80	20,00	—	4,50	1,50	12,00 Co
		T8	0,75	14,00	—	4,00	2,00	5,00 Co
		T15	1,50	12,00	—	4,00	5,00	5,00 Co
	al molibdeno	M1	0,80	1,50	8,00	4,00	1,00	—
		M2	0,85	6,00	5,00	4,00	2,00	—
		M3-1	1,05	6,00	5,00	4,00	2,40	—
		M3-2	1,20	6,00	5,00	4,00	3,00	—
		M4	1,30	5,50	4,50	4,00	4,00	—
		M16	0,80	4,00	5,00	4,00	1,50	12,00 Co
		M17	1,00	1,75	8,75	4,00	2,00	—
		M10	0,90	—	8,00	4,00	2,00	—
		M30	0,80	2,00	8,00	4,00	1,25	5,00 Co
		M33	0,90	1,50	9,50	4,00	1,15	8,00 Co
		M34	0,90	2,00	8,00	4,00	2,00	8,00 Co
		M36	0,80	6,00	5,00	4,00	2,00	8,00 Co
		M41	1,10	6,75	3,75	4,25	2,00	5,00 Co
M42	1,10	1,50	9,50	3,75	1,15	8,00 Co		
M43	1,25	1,75	8,75	3,75	2,00	8,25 Co		
M44	1,15	5,25	6,25	4,25	2,25	12,00 Co		
M46	1,25	2,00	8,25	4,00	3,20	8,25 Co		
M47	1,10	1,60	9,50	3,75	1,25	5,00 Co		
Aceros especiales	baja aleación	L2	0,50 a 1,10	—	—	1,00	0,20	—
		L3	1,00	—	—	1,50	0,20	—
		L6	0,70	—	0,25	0,75	—	1,50 Ni
	C.W.	F1	1,00	1,25	—	—	—	—
		F2	1,25	3,50	—	—	—	—
Moldeo	P2	0,07	—	0,20	2,00	—	0,50 Ni	
	P3	0,10	—	—	0,60	—	1,25 Ni	
	P4	0,07	—	0,75	5,00	—	—	
	P5	0,10	—	—	2,25	—	—	
	P6	0,10	—	—	1,50	—	3,50 Ni	
	P20	0,35	—	0,40	1,25	—	—	
	P21	0,20	—	—	—	—	4,00 Ni, 1,20 Al	

Tabla 4

Tipificación americana AISI (1970) (continuación)

	Símbolo	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	Otros	
Herramientas de alta velocidad	al tungsteno	T1	0,70	18,00	—	4,00	1,00	—
		T2	0,80	18,00	—	4,00	2,00	—
		T4	0,75	18,00	—	4,00	1,00	5,00 Co
		T5	0,80	18,00	—	4,00	2,00	8,00 Co
		T6	0,80	20,00	—	4,50	1,50	12,00 Co
		T8	0,75	14,00	—	4,00	2,00	5,00 Co
		T15	1,50	12,00	—	4,00	5,00	5,00 Co
	al molibdeno	M1	0,80	1,50	8,00	4,00	1,00	—
		M2	0,85	6,00	5,00	4,00	2,00	—
		M3-1	1,05	6,00	5,00	4,00	2,40	—
		M3-2	1,20	6,00	5,00	4,00	3,00	—
		M4	1,30	5,50	4,50	4,00	4,00	—
		M6	0,80	4,00	5,00	4,00	1,50	12,00 Co
		M7	1,00	1,75	8,75	4,00	2,00	—
		M10	0,90	—	8,00	4,00	2,00	—
		M30	0,80	2,00	8,00	4,00	1,25	5,00 Co
		M33	0,90	1,50	9,50	4,00	1,15	8,00 Co
		M34	0,90	2,00	8,00	4,00	2,00	8,00 Co
		M36	0,80	6,00	5,00	4,00	2,00	8,00 Co
		M41	1,10	6,75	3,75	4,25	2,00	5,00 Co
M42	1,10	1,50	9,50	3,75	1,15	8,00 Co		
M43	1,25	1,75	8,75	3,75	2,00	8,25 Co		
M44	1,15	5,25	6,25	4,25	2,25	12,00 Co		
M46	1,25	2,00	8,25	4,00	3,20	8,25 Co		
M47	1,10	1,60	9,50	3,75	1,25	5,00 Co		
Herramientas especiales	baja atención C-W	L2	0,50 a 1,10	—	—	1,00	0,20	—
		L3	1,00	—	—	1,50	0,20	—
		L6	0,70	—	0,25	0,75	—	1,50 Ni
al C-W	F1	1,00	1,25	—	—	—	—	
	F2	1,25	3,50	—	—	—	—	
Moldea	P2	0,07	—	0,20	2,00	—	0,50 Ni	
	P3	0,10	—	—	0,60	—	1,25 Ni	
	P4	0,07	—	0,75	5,00	—	—	
	P5	0,10	—	—	2,25	—	—	
	P6	0,10	—	—	1,50	—	3,50 Ni	
	P20	0,35	—	0,40	1,25	—	—	
	P21	0,20	—	—	—	—	4,00 Ni/1,20 Al	

Tabla 5

Normalización rusa GOST de aceros de herramientas
(al carbono, 1954; aleados, 1963; rápidos, 1960)

Aceros al carbono (normalización rusa)

Símbolo	% C	% Mn	% Si	% S máx.	% P máx.
Y 7	0,65/0,74	0,20/0,40	0,15/0,35	0,030	0,035
Y 8	0,75/0,84	0,20/0,40	0,15/0,35	0,030	0,035
Y 8 f	0,80/0,90	0,35/0,60	0,15/0,35	0,030	0,035
Y 9	0,85/0,94	0,15/0,35	0,15/0,35	0,030	0,035
Y 10	0,95/1,04	0,15/0,35	0,15/0,35	0,030	0,035
Y 11	1,05/1,14	0,15/0,35	0,15/0,35	0,030	0,035
Y 12	1,15/1,24	0,15/0,35	0,15/0,35	0,030	0,035
Y 13	1,25/1,35	0,15/0,35	0,15/0,35	0,030	0,035
Y 7 A	0,65/0,74	0,15/0,30	0,15/0,30	0,020	0,030
Y 8 A	0,75/0,84	0,15/0,30	0,15/0,30	0,020	0,030
Y 8 f A	0,80/0,90	0,35/0,60	0,15/0,30	0,020	0,030
Y 9 A	0,85/0,94	0,15/0,30	0,15/0,30	0,020	0,030
Y 10 A	0,95/1,04	0,15/0,30	0,15/0,30	0,020	0,030
Y 11 A	1,05/1,14	0,15/0,30	0,15/0,30	0,020	0,030
Y 12 A	1,15/1,24	0,15/0,30	0,15/0,30	0,020	0,030
Y 13 A	1,25/1,35	0,15/0,30	0,15/0,30	0,020	0,030

Aceros rápidos (normalización rusa)

Símbolo	% C	% Mn máx.	% Si máx.	% Cr	% W	% V	% Cu	% Mo máx.	% Ni máx.	% S máx.	% P máx.
P18	0,7/0,8	0,4	0,4	3,8/4,4	17,5/19,0	1,0/1,4	-	0,3	0,4	0,03	0,03
P9	0,85/0,95	0,4	0,4	3,8/4,4	8,5/10,0	2,0/2,6	-	0,3	0,4	0,03	0,03
P9φ5	1,4/1,5	0,4	0,4	3,8/4,4	9,0/10,5	4,3/5,1	-	0,4	0,4	0,03	0,035
P14φ4	1,2/1,3	0,4	0,4	4,0/4,6	13,0/14,5	3,4/4,1	-	0,4	0,4	0,03	0,035
P18φ2	0,85/0,95	0,4	0,4	3,8/4,4	17,5/19,0	1,8/2,4	-	0,5	0,4	0,03	0,03
P9K5	0,9/1,0	0,4	0,4	3,8/4,4	9,0/10,5	2,0/2,6	5,0/6,0	0,3	0,4	0,03	0,03
P9K10	0,9/1,0	0,4	0,4	4,0/4,4	9,0/10,5	2,0/2,6	9,5/10,5	0,3	0,4	0,03	0,03
P10K5φ5	1,45/1,55	0,4	0,4	4,0/4,6	10,0/11,5	4,3/5,1	5,0/6,0	0,3	0,4	0,03	0,035
P18K5φ2	0,85/0,95	0,4	0,4	3,8/4,4	17,5/19,0	1,8/2,4	5,0/6,0	0,5	0,4	0,03	0,03

Tabla 5 (continuación)

Aceros de herramientas aleados (normalización rusa)

Símbolo	% C	% Mn	% Si	% Cr	% W	% V	% Mo	% Ni
I. ACEROS PARA CORTE Y HERRAMIENTAS DE MEDIDA								
A) Aceros de templabilidad no profunda								
7XΦ	0,63/0,73	0,30/0,60	0,15/0,35	0,40/0,70	—	0,15/0,30	—	—
8XΦ	0,70/0,80	0,15/0,40	0,15/0,35	0,40/0,70	—	0,15/0,30	—	—
9XΦ	0,80/0,90	0,30/0,60	0,15/0,35	0,40/0,70	—	0,15/0,30	—	—
11X	1,05/1,14	0,40/0,70	0,15/0,35	0,40/0,70	—	—	—	—
13X	1,25/1,40	0,30/0,60	0,15/0,35	0,40/0,70	—	—	—	—
NBS	1,25/1,45	0,15/0,40	0,15/0,35	0,40/0,70	4,0/5,00	0,15/0,30	—	—
BI	1,05/1,20	0,15/0,40	0,15/0,35	0,20/0,35	0,80/1,20	0,15/0,30	—	—
Φ	0,95/1,05	0,15/0,40	0,15/0,35	—	—	0,20/0,40	—	—
B) Aceros de gran templabilidad								
X	0,95/1,10	0,15/0,40	0,15/0,35	1,30/1,65	—	—	—	—
9XC	0,85/0,95	0,30/0,60	1,2/1,6	0,95/1,25	—	—	—	—
NBF	0,90/1,05	0,80/1,10	0,15/0,35	0,90/1,20	1,20/1,60	—	—	—
9NBF	0,85/0,95	0,90/1,20	0,15/0,35	0,50/0,80	0,50/1,80	—	—	—
XBCF	0,95/1,05	0,60/0,90	0,65/1,00	0,60/1,10	0,70/1,00	0,05/0,15	—	—
9XSΦ	0,85/1,00	0,15/0,40	0,15/0,40	4,50/5,50	—	0,15/0,30	—	—
9XSΦ	0,85/1,00	0,15/0,40	0,15/0,40	4,50/5,50	0,80/1,20	0,15/0,30	—	—
9XSΦ1 (P4)	0,75/0,85	0,15/0,40	0,15/0,40	4,00/5,00	4,00/5,00	0,90/1,40	—	—
II. ACEROS PARA MATRICES								
A) Aceros para trabajo en frío								
9X	0,80/0,95	0,15/0,40	0,25/0,45	1,40/1,70	—	—	—	—
X6BΦ	1,05/1,15	0,15/0,40	0,15/0,35	5,50/7,00	1,10/1,50	0,40/0,70	—	—
X12	2,00/2,20	0,15/0,40	0,15/0,35	11,5/13,0	—	—	—	—
X12M	1,45/1,65	0,15/0,40	0,15/0,35	11,0/12,5	—	—	0,15/0,30	—
X12Φ1	1,20/1,45	0,15/0,40	0,15/0,35	11,0/12,5	—	0,70/0,90	—	—
B) Aceros para trabajo en caliente								
3X2BΦ	0,30/0,40	0,15/0,40	0,15/0,40	2,20/2,70	7,50/9,00	0,20/0,50	—	—
4X8B2	0,35/0,45	0,15/0,40	0,15/0,35	7,00/9,00	2,00/3,00	—	—	—
7X3	0,60/0,75	0,15/0,40	0,15/0,35	3,20/3,80	—	—	—	—
8X3	0,75/0,85	0,15/0,40	0,15/0,35	3,20/3,80	—	—	—	—
5XHM	0,50/0,60	0,50/0,80	0,15/0,35	0,50/0,80	—	—	0,15/0,30	1,40/1,80
5X1B	0,50/0,60	0,50/0,80	0,15/0,35	0,50/0,80	0,40/0,70	—	—	1,40/1,80
55XHCB	0,50/0,60	0,30/0,60	0,60/0,90	1,30/1,60	0,40/0,70	—	—	0,80/1,20
5X7M	0,50/0,60	1,20/1,60	0,25/0,65	0,60/0,90	—	—	0,15/0,30	—
4X5B4ΦCM	0,35/0,45	0,15/0,40	0,60/1,00	4,00/5,00	3,30/4,20	0,30/0,60	0,40/0,60	—
4X3B5ΦM	0,30/0,40	0,15/0,40	0,15/0,35	2,00/3,00	4,50/5,50	0,60/1,00	0,60/1,00	—
4X3B2Φ2M2	0,35/0,45	0,30/0,50	0,15/0,35	3,00/3,70	2,00/2,70	1,50/2,00	2,00/2,50	—
4X3B2ΦC	0,35/0,45	0,15/0,40	0,80/1,20	4,50/5,50	1,60/2,40	0,60/1,00	—	—
C) Aceros para choque								
4XC	0,35/0,45	0,15/0,40	1,20/1,60	1,30/1,60	—	—	—	—
6XC	0,60/0,70	0,15/0,40	0,60/1,00	1,00/1,30	—	—	—	—
4NB2C	0,35/0,44	0,15/0,40	0,60/0,90	1,00/1,30	2,00/2,50	—	—	—
4NB2C	0,45/0,54	0,15/0,40	0,50/0,80	1,00/1,30	2,00/2,50	—	—	—
4NB2C	0,55/0,65	0,15/0,40	0,50/0,80	1,00/1,30	2,20/2,70	—	—	—
4NB2C	0,55/0,70	0,90/1,20	0,15/0,35	0,50/0,80	0,50/0,80	—	—	—

Presentamos en la tabla 6 la tipificación española de aceros de herramientas establecida por el Instituto del Hierro y del Acero (hoy CENIM) en 1953 y ampliada en 1957 con los tipos F-536 y F-537.

Tabla 6

Tipificación española I.H.A. de aceros de herramientas (1953)

Grupo F-510: aceros al carbono

Símbolo	% C	% Mn	% Si	% Cr	% W	% V	% Mo	% Cu	% Ni
F-511	0,50/0,60	0,25/0,60	0,10/0,25	—	—	Op.	—	—	—
F-512	0,60/0,70	0,25/0,60	0,10/0,25	—	—	Op.	—	—	—
F-513	0,70/0,80	0,25/0,60	0,10/0,25	—	—	Op.	—	—	—
F-514	0,80/0,90	0,25/0,60	0,10/0,25	—	—	Op.	—	—	—
F-515	0,90/1,00	0,25/0,60	0,10/0,25	—	—	Op.	—	—	—
F-516	1,00/1,20	0,25/0,60	0,10/0,25	—	—	Op.	—	—	—
F-517	1,20/1,40	0,25/0,60	0,20/0,30	—	—	Op.	—	—	—

Grupos F-520, F-530, F-540: aceros aleados

F-521	1,60/2,00	0,20/0,40	0,15/0,30	11,5/13,5	—	Op.	—	—	—
F-522	0,90/1,00	1,00/1,20	0,15/0,30	0,40/0,60	0,50	Op.	—	—	—
F-523	0,85/1,05	0,25/0,60	0,15/0,30	1,30/1,60	—	Op.	—	—	—
F-524	0,45/0,55	0,25/0,35	0,90/1,10	0,75/1,00	1,80/2,20	—	—	—	—
F-525	0,30/0,40	0,25/0,35	0,90/1,10	0,50/0,70	1,80/2,20	—	—	—	—
F-526	0,30/0,40	0,20/0,40	0,15/0,30	2,50/3,00	9,50/10,5	0,20/0,50	—	—	—
F-527	0,30/0,40	0,20/0,40	0,90/1,10	1,00/2,00	3,75/4,25	—	0,20/0,30	—	—
F-528	0,40/0,50	0,20/0,40	0,15/0,30	0,60/0,75	—	—	0,30/0,60	—	1,30/1,5
F-529	0,50/0,60	0,60/0,90	0,20/0,50	0,50/1,00	—	—	—	—	—
F-531	1,25/1,50	0,20/0,40	0,15/0,30	0,40/0,60	3,50/4,50	Op.	—	—	—
F-532	1,10/1,20	0,20/0,40	0,15/0,30	—	0,90/1,10	—	—	—	—
F-533	1,35/1,30	0,20/0,40	0,15/0,30	0,50/1,00	—	—	—	—	—
F-534	0,65/0,75	0,20/0,40	0,15/0,30	2,50/4,50	9,00/11,0	0,40/0,60	—	—	—
F-535	0,30/0,40	0,20/0,60	0,15/0,30	13,0/14,0	—	—	—	—	—
F-536	0,95/1,05	0,30/0,40	0,15/0,30	4,25/5,25	—	—	0,90/1,10	—	—
F-537	0,33/0,37	0,30/0,40	0,90/1,10	4,75/5,25	1,45/1,55	0,37/0,42	1,45/1,55	—	—

Grupo F-550: aceros rápidos

F-551	0,65/0,70	0,20/0,40	0,20/0,40	4,00/4,50	13,0/15,0	1,00/1,25	—	—	—
F-552	0,70/0,75	0,20/0,40	0,20/0,40	4,00/4,50	17,0/19,0	1,00/1,25	Op.	—	—
F-553	0,70/0,75	0,20/0,40	0,20/0,40	4,00/4,50	17,0/19,0	1,00/1,25	0,80/1,00	4,00/6,00	—
F-554	0,70/0,75	0,20/0,40	0,20/0,40	4,00/4,50	17,0/19,0	1,00/1,25	0,80/1,00	9,00/11,0	—

En la tabla 7 damos un resumen comparativo de las características fundamentales de las seis tipificaciones que hemos expuesto.

De la observación de las tipificaciones de la tabla comparativa 7 se deducen las siguientes consideraciones:

1.- No existe uniformidad en las clasificaciones. En efecto, ni la composición química, ni el tratamiento térmico ni la aplicación bastan separadamente como criterio de clasificación. Hay que mezclar convenientemente tales factores para tener una base de ordenación de los aceros de herramientas.

2.- La clasificación más amplia es la de siete grupos -- en Estados Unidos y las más resumidas las de España y Rusia. Este último país tiene varios subgrupos que contribuyen a una mejor delimitación. La falta de definición de nuestra lista es manifiesta.

3.- Los cuatro grupos de las tipificaciones alemana y -- francesa parecen determinar la tendencia internacional. -- Esa misma clasificación en cuatro grupos ha sido adoptada por ISO (International Organization for Standardiza--tion) como veremos más adelante. Creemos sin embargo -- que, en forma de subgrupo, habría que individualizar los-

aceros de choque y los de moldes.

Tabla 7

Resumen comparativo de las tipificaciones de aceros de herramientas en varios países.

Tabla 7.
Resumen comparativo de las tipificaciones de aceros de herramientas en varios países

Grupos	Subgrupos Alemanas	Subgrupos Francia	Subgrupos Inglaterra	Subgrupos Rusia	Subgrupos Estados Unidos	Subgrupos España
Al carbono	clase 1 (5) clase 2 (5) clase 3 (6) usos especiales (5)	extrafinos al C (5) finos al C (5) de uso general (5) extrafinos al C V (5) finos al C Cr (7)	temple al agua (4)	finos al C (8) de uso general (8)	temple al agua (3)	sin subgrupos
Trabajo en frío	sin subgrupos, aunque se incluyen los aceros de choque (17)	resistentes al desgaste (6) indeformables (8) resistentes a choque (7) resistentes a ciertas corrosiones (3) hincado en frío (3)	de temple al aceite (2) { alto C, alto Cr (3) de aleación media, temple al aire (2).		temple aceite (4) { alto C, alto Cr (5) de aleación media, temple al aire (8)	
Trabajo en caliente	al tungsteno (6) media aleación Cr-Mo (7) construcción Cr-Ni-Mo (3) especiales (1)	desgaste alta temperatura (6) choques térmicos (5) choques mecánicos (4) muy alta temperatura (3)	al tungsteno (3) al cromo (6)		al tungsteno (6) al cromo (6) al molibdeno (3)	
Trabajo de choque			sin subgrupos (3)		sin subgrupos (4)	
Moldes					sin subgrupos (principalmente para pistones) (7)	
Rápidos	sin subgrupos (9) (prácticamente desaparecen los tipos al W)	12% W (4) 18% W (4) al W Mo (5) } 6-8-2 al Mo (2) } 1-8-1	al W (9) { al Mo (6)	al W (9)	al W (7) { al Mo (18)	al W 14
Usos especiales			baja aleación (1) al C W (1)		baja aleación (3) al C W (2)	
Aleados				baja templeabilidad (8) alta templeabilidad (8) trabajo en frío (5) trabajo en caliente (12) choques (6)		sin subgrupos (principalmente en frío y choques)
Número total de aceros de cada país	64	87	40	64	76	27

NOTA: Las cifras entre paréntesis corresponden al número de aceros de cada subgrupo

aceros de choque y los de moldes.

4.- Solamente la clasificación de Estados Unidos destaca los aceros para moldes como grupo. Los siete aceros correspondientes se destinan principalmente a moldes para plásticos e inyección de cinc y sus aleaciones.

Aunque los aceros para moldes son aceros de construcción o de herramientas pertenecientes a otros grupos, creemos que deben ser individualizados por la gran importancia que va adquiriendo la conformación de plásticos (por compresión o inyección) y la inyección de metales. En cualquier caso, la aplicación está perfectamente delimitada: conformación en estado líquido.

5.- Destaca la línea de simplificación de la normalización inglesa que nos parece muy acertada con 40 tipos. Esencialmente se adapta a la clasificación americana, pero suprimiendo el grupo de moldes y disminuyendo el número de aceros.

6.- Las coincidencias de fondo son muy grandes en las normalizaciones anteriores. Rusia carece de molibdeno, y ello condiciona su tipificación.

-En el grupo de aceros al carbono, Alemania, Francia y Rusia presentan subgrupos con la única diferencia de que, a través de pequeñas modificaciones en los contenidos de Si y Mn principalmente (también se --

desplaza los límites tolerables en P y S) y manteniendo el mismo porcentaje C, se varía la templabilidad. Los tipos con V o con Cr se recogen en ocasiones en este grupo (caso francés) o pasan al de trabajo en frío o aleados (Alemania y Rusia).

-En el grupo de trabajo en frío domina la concordancia sustancial entre las tipificaciones de Francia, Inglaterra y Estados Unidos con los tres subgrupos fundamentales de los dos últimos países. A señalar la supresión en Alemania del acero indeformable de temple al aire de 1% C, 5% Cr, 1% Mo que, sin embargo, aparece como acero moldeado dentro del mismo grupo.

-Los tres primeros subgrupos de los aceros para trabajo en caliente de las clasificaciones alemana y francesa constituyen el núcleo fundamental de este grupo. Tales subgrupos no están titulados en el caso alemán y se definen por su principal cualidad en el francés. Las tipificaciones inglesa y americana no comprenden el subgrupo tercero alemán y francés por considerar que tales aceros Cr-Ni-Mo son de construcción (aunque su contenido de carbono sea --

sea más alto).

-En el grupo de aceros de choque (sólo Inglaterra y Estados Unidos como tal grupo) predominan los tipos 2% W, 1% Cr y los de muelles. Francia y Alemania -- los incluyen en el grupo de trabajo en frío, y España y Rusia en el de aceros aleados.

-El grupo de aceros aleados (España y Rusia) engloba en estos dos países, los de trabajo en frío, trabajo en caliente, de choque y algunos otros tipos de aplicación más especial. Ambos países tienen representados con algún acero los seis subgrupos fundamentales que componen conjuntamente los grupos de trabajo en frío y trabajo en caliente.

-En el grupo de aceros rápidos la tipificación española está ampliamente superada al no incluir los tipos al Mo. Rusia no los tiene por su carencia de ese metal. En los demás países la tendencia hacia el Mo, en sustitución del W, es muy acusada. En la tipificación alemana de 1969 han desaparecido prácticamente los aceros al W.

Los aceros superrápidos puestos a punto en Es-

tados Unidos, han sido adoptados en las tablas de Alemania, Francia e Inglaterra. Lo mismo puede decirse de los aceros de alto V.

LA NORMALIZACIÓN ISO DE ACEROS DE HERRAMIENTAS

La International Organization for Standardization, conocida comúnmente con el nombre de ISO, viene desarrollando en los últimos años una labor de normalización a escala internacional. La necesidad de este trabajo es clara, pues cada vez que son más numerosos los intercambios entre naciones que obligan a adoptar una nomenclatura común. Si se llegara algún día a la adopción de pocos tipos de aceros idénticos para todos los países o al menos por áreas económicas importantes, las ventajas serían extraordinarias para los fabricantes, los almacenistas y los consumidores.

En el campo de los aceros de herramientas ISO ha estudiado las propuestas de Alemania, Francia, Inglaterra, Hungría, Italia, Japón, Estados Unidos y Suecia. En la reunión celebrada recientemente en París (abril -- 1972), a la que han asistido algunos observadores españoles, se ha decidido, por el momento, la redacción de un borrador de propuesta ISO que recogemos en las tablas 8 a 13 y presentamos a continuación:

Tabla 8

ISO, Aceros no aleados para trabajo en frío

Tipo	Símbolo	% C	% Si máx.	% Mn máx.	% V máx.	% P máx.	% S máx.	Equivalente ALLOSA
1.	C 65	0,65/0,74	0,35	0,35	—	0,030	0,030	LC 6
2	C 80	0,75/0,84	0,35	0,35	—	0,030	0,030	LC 7
5	C 95	0,85/0,94	0,35	0,35	—	0,030	0,030	LC 8
7	C 105	0,95/1,09	0,35	0,35	—	0,030	0,030	LC 9
9	C 120	1,10/1,29	0,35	0,35	—	0,030	0,030	LC 11
11	C 140	1,30/1,50	0,35	0,35	—	0,030	0,030	LC 13
13 (p)	CV 100	0,95/1,10	0,35	0,35	0,15/0,35	0,030	0,030	LC 9

Nota: a) La indicación (p) significa provisional. b) Todas las delegaciones deberán considerar si el uso de estos tipos de acero con vanadio justifican su adopción. c) ALLOSA: Aceros de Llodiu, S. A.

Tabla 9
ISO. Aceros aleados para trabajo en frío

Tipo	Símbolo	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% V	% W	Equivalente ALLOSA
17	100 Cr 2	0,95/1,05	0,15/0,35	0,20/0,40	1,4/1,7	—	—	—	LCBV
21	105 W Cr 1	1,00/1,10	0,15/0,35	0,70/1,00	0,8/1,1	—	—	1,0/1,5	—
25	45 W Cr V 2	0,40/0,50	0,80/1,10	0,20/0,40	0,9/1,2	—	0,15/0,25	1,8/2,2	NEU 1
27	50 W Cr V 2	0,45/0,55	0,80/1,20	0,30/0,70	1,2/1,7	—	0,10/0,30	1,5/2,5	—
29	60 W Cr V 2	0,55/0,65	0,60/1,10	0,20/0,40	0,9/1,2	—	0,15/0,25	1,8/2,2	NEU 2
37	100 Cr Mo V 5	0,95/1,05	0,15/0,35	0,30/0,70	4,7/5,5	0,9/1,4	0,20/0,50	—	ICM
39	90 Mn V 2	0,85/0,95	0,15/0,35	1,90/2,10	—	—	0,10/0,30	—	IMV
41	100 Mn Cr W 1	0,85/1,05	0,15/0,35	1,05/1,35	0,4/0,6	—	—	0,4/0,6	3WV
47	210 Cr 12	1,90/2,20	0,15/0,35	0,20/0,40	11,5/12,5	—	—	—	CRC
49	210 Cr W 12	2,00/2,25	0,15/0,35	0,20/0,40	11,5/12,5	—	—	0,8/1,0	CRCW
5f	160 Cr Mo V 12	1,50/1,70	0,15/0,35	0,20/0,40	11,5/12,5	0,6/1,1	0,20/0,70	(0,4/0,6)	CMC
53	210 Cr Mo V 12	1,90/2,30	0,15/0,35	0,20/0,40	11,5/12,5	0,7/1,1	0,20/0,70	—	—
15 (p)	140 Cr 1	1,30/1,50	0,15/0,35	0,20/0,40	10,3/0,8	—	—	—	LC 13 Cr
18 (p)	110 Cr V 1	1,00/1,20	0,15/0,35	0,30/0,50	0,6/0,9	—	0,05/0,25	—	LC 11 Cr V
45 (p)	60 Si Mo V 2	0,55/0,65	1,70/2,20	0,60/0,90	—	0,2/0,7	0,10/0,30	—	CT

Nota: a) La composición química no ha sido decidida todavía, por lo que las cifras del cuadro anterior son orientativas, aunque muy aproximadas. b) La indicación (p) significa provisional. c) En el borrador de propuesta ISO aparecerán otros cuatro grupos complementarios: aceros para matrices por fundido en frío, aceros para moldes de inyección de Zn; aceros de stuelles usados como herramientas; moldes de acero inoxidable. d) En todos los casos los límites superiores para los porcentajes S y P es de 0,030. En aceros resulfurados se establecerán acuerdos entre el comprador y el vendedor. e) Se fijan horquillas admisibles para el contenido de los principales elementos que se dan en la tabla 10.

Tabla 10

% C		% Si; % Mn		% Cr		% Mo; % V; % W	
Contenido máximo	Horquilla	Contenido máximo	Horquilla	Contenido máximo	Horquilla	Contenido máximo	Horquilla
≤ 1,0	0,10	≤ 1,5	0,30	≤ 2	0,30	≤ 0,50	0,20
> 1,0 ≤ 1,5	0,15	> 1,5	0,50	> 2; ≤ 5	0,50	0,50; 1,0	0,30
> 1,5	0,30	—	—	> 5; ≤ 12	1,00	> 1	0,50

Tabla 11

ISO, Aceros para trabajo en caliente

Tabla 11
ISO. Aceros para trabajo en caliente

Tipo	Simbolo	% C	% Si	% Mn	% Co	% Cr	% Mo	% Ni	% V	% W	ALLO.
1	40 Ni Cr Mo V 4	0,35/0,45	0,15/0,35	0,4/0,6	—	1,6/2,0	0,40/0,60	3,5/4,2	0,07/0,12	—	ATO
3	55 Ni Cr Mo V 2	0,50/0,60	0,15/0,35	0,5/0,7	—	0,7/0,9	0,25/0,35	1,5/2,0	0,07/0,12	—	ATO
5	60 Ni Cr Mo V 2	0,55/0,65	0,15/0,35	0,6/0,8	—	0,9/1,1	0,45/0,55	1,5/2,0	0,07/0,12	—	ATO
7	30 Cr Mo V 3	0,25/0,35	0,15/0,35	0,2/0,4	—	2,7/3,2	2,60/3,00	—	0,40/0,70	—	LEC
9	37 Cr Mo V 5	0,32/0,42	0,90/1,20	0,3/0,5	—	4,5/5,5	0,80/1,40	—	0,30/0,60	—	FIN
11	40 Cr Mo V 5	0,35/0,45	0,90/1,20	0,3/0,5	—	4,5/5,5	1,20/1,80	—	0,80/1,20	—	FINV
17	30 W Cr V 5	0,25/0,35	0,15/0,35	0,2/0,4	—	2,2/2,6	—	—	0,40/0,70	4,2/5,0	MW
19	30 W Cr V 9	0,25/0,35	0,15/0,35	0,2/0,4	—	2,8/3,4	—	—	0,30/0,60	8,5/10,0	WMC
13 (p)	35 Cr Mo V W 5	0,30/0,40	0,90/1,20	0,3/0,5	—	4,5/5,5	1,20/1,80	—	0,30/0,60	1,1/1,7	FINW

NOTA: a) La misma nota a) de la tabla 9 es extensiva a la tabla 11. b) Se ha decidido añadir a la tabla 11 los aceros refractarios de herramientas. Francia propone: X 12 Cr Ni Si 25-20, X 12 Ni Cr Si 37-18 y X 6 Ni Cr Ti 25-15. Las demás delegaciones presentarán próximamente sus propuestas. c) Para contenidos de W por debajo del 5% la horquilla admisible es de 1%; para 10% W, de 1,50%. d) La comisión sugiere hacer un solo acero de los tipos 3 y 5. f) La indicación (p) significa: especial.

COMENTARIOS AL BORRADOR ISO

a) Puede resumirse así la clasificación ISO:

Aceros no aleados para trabajo en frío	7 tipos
Aceros aleados para trabajo en frío	15 "
Aceros para trabajo en caliente	9 "
Aceros rápidos	12 "
T O T A L	<u>43 tipos</u>

Dentro de su espíritu simplificador que es -- fundamental en una normalización, la clasificación ISO -- nos parece muy acertada y recoge todos los aceros impor- tantes con los que se cubren prácticamente todas las -- necesidades en el campo de las herramientas.

Significa, además, una síntesis de todo lo -- que es común o puede hacerse común dentro de las tipifi- caciones nacionales de los países más avanzados tecnológi- camente. No se observa ninguna nota discordante ni por incorporación de algún acero anormal ni por ausencia de los importantes.

b) Podrán hacerse las siguientes observaciones: conven- drá establecer subgrupos en los aceros aleados por tra- bajo en frío, y en los de trabajo en caliente, al igual que se ha hecho en los rápidos. En el primero de ellos además de señalarse el subgrupo de choque (tipos 25, 27

... 29 y 45 (p) creemos interesaría establecer cuatro -
grupos:

- 1.- Temple al agua tipos 15(p) y 19(p)
- 2.- Baja aleación (temple al aceite) tipos 17, 21, 39, 41
- 3.- Media aleación (5% Cr) tipos 37
- 4.- Alto C, alto Cr. tipos 47, 49, 51, 53

En los aceros de trabajo en caliente la subdi
visión podría ser:

- 1.- Al Cr-Ni-Mo. tipos 1, 3, 5
- 2.- Al Cr-Mo tipos 7, 9, 11, 13 (p)
- 3.- Al W tipos 17, 19

c) Aunque entre los cuatro subgrupos que van a añadirse a los aceros aleados para trabajo en frío se considera el problema de los moldes de plásticos y de inyección-- de Zn, quizás conviniera dar un peso mayor a los aceros para moldes en general (plásticos e inyección de todo-- tipo de metales) ante la gran extensión e importancia-- que van adquiriendo ambas tecnologías.

d) Creemos que, en todo caso, la propuesta ISO es del-- máximo interés para cualquier país que debe abordar --- en el futuro próximo, como es el caso español, la tipi-ficación o normalización de los aceros de herramientas,

pues simplifica y sintetiza las tendencias internacionales que cada vez gravitan con más fuerza sobre nuestro panorama industrial.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE ELECCION DE UN ACERO DE HERRAMIENTAS

Una herramienta se define en su comportamiento en servicio por cuatro características principales:

- resistencia al desgaste la baja o alta temperatura;
- tenacidad
- resistencia al revenido (o ablandamiento por efecto de temperatura);
- resistencia al choque térmico

Según la aplicación de cada herramienta, estas propiedades son requeridas en mayor o menor grado y en algunos casos puede alguna de ellas no ser necesaria -- (p. ej. resistencia al choque térmico en una herramienta que trabaja a temperatura ambiente). En realidad, el verdadero secreto de la elección adecuada de un acero de herramientas consistiría en valorar, según esas cuatro características, la naturaleza del trabajo a realizar -- y en calificar igualmente a los aceros según su aptitud para cumplir esas cuatro exigencias. Si eso fuera fácil el encaje de un acero para una utilización determinada --

sería también sencillo. Desgraciadamente no es así, pero creemos que eso debería ser, sin embargo, el esquema mental analítico a desarrollar cuando se plantea un problema dudoso de elección de un acero de herramientas.

Otros factores deberán también considerarse, tales como la forma de la herramienta, el número de piezas que se desea fabricar con ella, problemas de posible corrosión, etc. Puede afirmarse, sin embargo, que, en la mayoría de los casos es la contraposición sistemática entre resistencia al desgaste y tenacidad la condición clave a tener en cuenta. Dentro de un mismo grupo de aceros de herramientas (p. ej. aceros para trabajo en frío), ocurre que al pasar de un tipo a otro, con mejora de la resistencia al desgaste para un nivel estándar de dureza en ambos, se disminuye la tenacidad.

En un acero determinado se produce la misma particularidad, es decir que el número aumento de una de las dos propiedades anteriores repercute negativamente en la otra. Teniendo en cuenta las posibilidades que ofrece el revenido con la variación de su temperatura, esta consideración resulta de gran utilidad al permitir adoptar el nivel de dureza más adecuado en un acero determinado según su aplicación.

Combinando estos dos reglas fundamentales, re-
feridas respectivamente a un acero a un grupo de ellos,
puede tenerse un buen criterio inicial para la elección.

Lo que exponemos a continuación son considera-
ciones de tipo general, que pueden servir de pauta para
seleccionar un acero de herramientas adecuándolo a su -
utilización. No descendemos, como es lógico, a los ca-
sos concretos que harían interminable la exposición. He-
mos dividido en seis grupos el conjunto de los aceros -
de herramientas en una clasificación que se acerca a la
americana y a la inglesa. Tales grupos son:

- aceros al carbono y de bajo aleación al Cr, al V-
o al Cr-V;
- aceros para trabajo en frío:
- aceros para trabajo en choque
- aceros para trabajo en caliente;
- aceros para moldes (metales y plásticos)
- aceros rápidos

ACEROS AL CARBONO Y DE BAJA ALEACION AL Cr, al V o al Cr-V

Estos aceros eran los únicos existentes en el
siglo pasado antes de empezarse a utilizar los aceros a
leados. En la actualidad han perdido importancia y s6-

Lo constituyen el 10-20% del volumen de aceros de herramientas. Sin embargo, estos aceros de precio relativamente bajo y fácil tratamiento térmico de recocido de globulización tienen todavía aplicaciones importantes -- no solo en razón de su precio, sino también porque, en algunos casos, responden de modo óptimo a algunas exigencias difíciles, como puede ser en las matrices para estampación en frío de tornillería, herramientas a las que se exige una gran dureza superficial y al mismo tiempo una gran tenacidad en el núcleo. Estos aceros tienen baja templabilidad y adquieren en el temple una dureza superficial, en una capa de pocos milímetros de 65 Rc, mientras que su núcleo queda más blando y tenaz y presenta en su estructura constituyentes intermedios de dureza 40-45 Rc. En consecuencia, las herramientas así preparadas pueden resistir perfectamente, de un lado, el desgaste de la superficie, y de otro, los choques importantes durante el uso. Por tratarse de aceros al carbono, pocas variaciones pueden esperarse en lo que se refiere a composición química. La más significativa es la adición de vanadio, que mejora la finura del grano y en consecuencia la tenacidad disminuyendo ligeramente la templabilidad. En los casos en que interesa obtener una mayor templabilidad, la presencia de pequeñas cantidades de cromo, del orden 0,50% aumenta dich-

propiedad y confiere una mayor penetración en la capa dura superficial.

Los aceros al carbono pueden usarse en una larga lista de aplicaciones: cuchillas de afeitar, brocas, herramientas para madera, alicates, tenazas, herramientas de roblonado, hojas de cizalla, cuchillería, puntas, sierras, matrices de acuñado, cilindros de conformación en frío, etc. Muchas de estas aplicaciones pueden ser cumplidas por los aceros aleados para trabajo en frío, pero los aceros al carbono pueden bastar en ocasiones, siendo más baratos.

ACEROS PARA TRABAJO EN FRÍO

Este es el grupo más importante cuantitativamente dentro de los aceros de herramientas. Su consumo oscila entre el 30 y el 40% del total de los aceros de herramientas. En este capítulo de aceros para trabajos en frío (que en ocasiones se denominan indeformables) pueden establecerse tres subgrupos (todas las denominaciones que damos a continuación corresponden al borrador ISO citado, que excepto en algunos casos que se mencionan expresamente en que utilizamos la nomenclatura española del I.H.A.)

- a) aceros de baja aleación tipos 100 Cr 2 y 100 Mn Cr W1;
- b) aceros de aleación media tipo 100 Cr Mo V5;
- c) aceros de 12% de cromo tipos 160 Cr Mo V 12 y 210 Cr

a) En el primero de estos subgrupos, el acero 100 Mn Cr W 1 puede considerarse como prototipo. Es un acero indeformable al manganeso con pequeñas cantidades del cromo, --- tungsteno y vanadio, de temple al aceite y de precio bajo. Indeformable significa que por templar en aceite o en aire estos aceros se deforman menos en el temple que otros aceros de construcción de herramientas. A pesar de esa denominación, uno de los mayores problemas que se plantean en este tipo de aceros es precisamente su deformación en el tratamiento térmico. El acero 100 Mn Cr W 1 es susceptible de un cómodo recocido de globulización, estado en el que la mecanización es muy fácil. Puede adquirir una elevada dureza (60-65 Rc) y el conjunto de todas estas cualidades le hace seguir disfrutando de una posición privilegiada para toda clase de trabajos en frío. En Estados Unidos es un acero de los más utilizados y existen algunas variantes con pequeñas modificaciones en su composición química, pero manteniendo su esencia fundamental. Su resistencia al desgaste es inferior a la de los otros dos subgrupos debidos a la escasez de carburos en su estructura.

b) El acero 100 Cr Mo V 5, representante máximo del segundo subgrupo es un acero desarrollado hacia 1930 en Estados Unidos, y es, en consecuencia, el más moderno del grupo. - Se sitúa por sus propiedades a mitad de camino entre el primer subgrupo que acabamos de describir y el que exponemos a continuación de los aceros de 12% de cromo. En efecto, en resistencia al desgaste es superior al acero 100 Mn Cr W 1 e inferior a los 160 Cr Mo V 12 y 210 Cr 12; es en cambio superior en tenacidad por lo que presenta un equilibrio de propiedades que le hacen sumamente interesante para múltiples aplicaciones. Nos extraña que en España este acero no haya tenido una difusión tan amplia como se merece. En cuanto a su precio, se sitúa igualmente en un punto intermedio entre los de los dos subgrupos.

c) Los aceros de 12% de cromo, tipos 160 Cr Mn V 12 y --- 210 Cr 12 presentan una gran resistencia al desgaste como consecuencia de la presencia masiva en su estructura de carburos de cromo. Su tenacidad, sin embargo, es muy baja. Son, pues, aceros que, en ese equilibrio de las dos propiedades fundamentales que son la resistencia al desgaste y la tenacidad, promocionan de manera muy fuerte la primera de ellas, pero disminuyendo claramente la segunda. El acero 160 Cr Mo V 12, cuyo contenido en carbono puede oscilar entre 1 y 2%, tiene algo menor resistencia-

al desgaste, en relación con el 210 Cr 12 por su más bajo contenido en carbono, pero, presenta, sin embargo, mayor tenacidad y un juego posible de estas dos propiedades según el contenido de carbono. Por lo tanto en aquellos casos en que la utilización del acero 210Cr 12 origina problemas de roturas en aristas cortantes, puede el acero -- 160 Cr Mo V 12 sustituirle evitando tal problema aunque la resistencia al desgaste disminuye ligeramente.

Podemos pues, establecer una escala de tenacidades crecientes para estos aceros de trabajo en frío: 210-Cr 12, 160 Cr Mo V 12, 100 Mn Cr W 1, 100 Cr Mo V 5, es igualmente otra escala de resistencias al desgaste crecientes: 100 Mn Cr W 1, 100 Cr Mo V 5, 160 Cr Mo V 12, 210 Cr 12. Según el trabajo específico, en cada caso convendrá elegir uno u otro de estos tipos. Ejemplo: cuando la utilización comporte un trabajo de desgaste fuerte de la herramienta, con choques o esfuerzos dinámicos poco importantes, sería indicado elegir el tipo de acero 210 Cr 12 o 160 Cr mo V 12.

La tendencia que se adivina para este grupo de aceros de trabajo en frío es un afianzamiento y delimitación de los tres subgrupos que hemos expuesto con varia-

ciones en los análisis químicos en torno a las composiciones indicadas. Por ejemplo los aceros de 12% Cr tienen en la tipificación. AISI americana cinco variantes. Lo que si se advierte, es la tendencia, siempre que la aplicación lo permite, a pasar de los aceros baratos a los caros, es decir, a aumentar la vida de las herramientas, -- porque finalmente es más económico.

ACEROS PARA TRABAJO DE CHOQUE

Este grupo es el menos importante y en las tipificaciones alemana, francesa y rusa es un subgrupo dentro de los aceros para trabajos en frío. En cambio, en las normalizaciones de los Estados Unidos y de Inglaterra, aparece como grupo. En el borrador ISO los aceros de choque están englobados en el grupo de aleados para trabajo en frío.

Los tres aceros más significativos de este grupo son los 60 Si Mo V 2, 45 W Cr V 2 y 60 W Cr V 2. El acero 60 Si Mo V 2 tiene una composición típica de aceros de muelles con algo de molibdeno y vanadio. Los otros dos son aceros al tungsteno y al cromo. La diferencia esencial entre el 45 W Cr V 2 y el 60 W Cr V 2 es su diferente contenido en carbono, que hace más tenaz y menos resistente al desgaste al 45 W Cr V 2.

En estos aceros, evidentemente, la tenacidad, -- es decir, la resistencia al choque, es la condición fundamental y como secundaria está la resistencia al desgaste. La tipificación alemana presenta cuatro tipos de aceros -- semejantes al 45 W Cr V 2, pero con contenidos de carbono escalonados desde 0,35 hasta 0,80 % y algo semejante ocurre en Rusia, donde la banda de carbono va desde 0,35 hasta 0,65%. Ello da idea de como el carbono es el elemento que, en igualdad de otros factores, sirve para jugar con las dos propiedades fundamentales de resistencia al desgaste y tenacidad. En el caso de los aceros para choque, cuando las exigencias de tenacidad son muy altas por la frecuencia o la intensidad de los esfuerzos dinámicos, -- deberá tenderse hacia carbonos bajos. Pero, en los demás casos, para mejorar la resistencia al desgaste, convendrá adoptar tipos de acero con el máximo contenido de carbono que no comprometa la tenacidad y que mejore la resistencia al desgaste.

ACEROS PARA TRABAJO EN CALIENTE

Este es el segundo de los grupo en cuanto a volumen de producción que oscila entre el 20 y el 30% del total de aceros de herramientas. Al igual que en el grupo de trabajos en frío, cabe hacer aquí 3 subgrupos:

- a) aceros como-níquel-molibdeno tipo 55 Ni Cr Mo V 2 y 40 Ni Cr Mo V 4;
- b) aceros de 5% de cromo tipos 37 Cr Mo V 5, 35 Cr Mo V W 5, y 40 Cr Mo V 4 y de 3% Cr-3 Mo tipo - 30 Cr Mo V 3;
- c) aceros de alta aleación de tungsteno tipos 30W-Cr V 9 y 30 W Cr V 5.

a) El primero de estos subgrupos los constituyen los aceros 55 Ni Cr Mo V 2 y 40 Ni Cr Mo V 4, que son propiamente aceros de construcción a los que se ha elevado el -- contenido de carbono para aumentar su resistencia al desgaste.

Hasta tal punto son aceros de construcción o -- se asemejan a los aceros de construcción, que la clasificación americana AISI y la inglesa British Standard no -- los recogen como aceros de herramientas. No ocurre lo -- mismo en las otras tres tipificaciones, alemana, france--sa, y rusa. La clasificación francesa, concretamente, -- denomina a este subgrupo como aceros para trabajo de choque. Con ese nombre ya se indica cual es la cualidad -- fundamental que se exige para el uso de estos aceros cromo-níquel-molibdeno que se utilizan normalmente en martíllos para forja en caliente. No es difícil comprender -- que, para esta aplicación, la condición fundamental es --

la resistencia a los choques mecánicos, aunque también -- existe un problema menos importante que es el calentamiento de utillaje. El problema de la temperatura no es grave, porque el contacto entre herramienta y metal caliente es muy breve, especialmente en la estampa superior. De ahí que la condición fundamental sea la tenacidad y no la resistencia al revenido o ablandamiento por la acción de la temperatura. En la mayoría de las ocasiones estos aceros Cr-Ni-Mo se suministran en estado pretratado a un nivel de resistencia de 110-130 kg-mm². En estas condiciones puede efectuarse el mecanizado de la huella de las matrices de forja con algunas dificultades y, en consecuencia, el usuario o el fabricante de la herramienta se evita el tratamiento térmico y todos los problemas que pueden derivarse del mismo, tales como la deformación, decarburación, formación de cascarilla superficial, etc. Podemos decir que este es el estado normal de suministro para este tipo de aceros.

b) El segundo grupo lo constituyen los aceros de 5% de cromo, y también el tipo de acero 30 Cr Mo V 3 (3% Cr-3% Mo). Son aceros de una amplia utilización y los más representativos dentro de los aceros de trabajos en caliente. La resistencia al desgaste en caliente se ha promocionado fuertemente en los primeros por la adición de 5% de cromo, 1% aproximadamente de molibdeno y eventualmente

tungsteno y vanadio. La resistencia al revenido aumenta, lo que permite a estos aceros mantener su dureza inicial a pesar de calentarse hasta 600°C. En consecuencia, la aplicación fundamental es para aquellos casos en que la herramienta debe estar caliente de manera prolongada, como es el caso de las prensas de forja o de extrusión siempre que la temperatura de las herramientas no sobrepase los 600° aproximadamente. Por eso, en extrusión, este tipo de aceros se aplica perfectamente en las aleaciones ligeras y ultraligeras (aluminio y magnesio).

El acero 30 Cr Mo V 3, que hasta el momento ha tenido poca difusión en España, presenta unas propiedades extraordinariamente interesantes y aventaja ligeramente a los aceros de 5% Cr en todos los parámetros tecnológicos que definen un acero, excepto en tenacidad. En especial, su resistencia al desgaste a alta temperatura es superior por la presencia de un contenido relativamente elevado de molibdeno (3%).

c) Cuando la exigencia de resistencia al desgaste a alta temperatura es muy fuerte y no puede ser soportada por los aceros que constituyen el segundo subgrupo, hay que pensar en tipos de mayor aleación, especialmente en tungsteno que es el elemento que más mejora esa propiedad. El

acero 30 W Cr V 9 contiene 9,5% de tungsteno y 2,75% de cromo aproximadamente. Es un acero frágil, inadecuado para los choques térmicos, por lo que no debe refrigerarse con agua. Se acerca en su análisis a los aceros rápidos - Su aplicación va directamente encaminada a aquellos casos en que la temperatura de trabajo sea alta y los esfuerzos dinámicos pequeños. Se emplea por ejemplo en extrusión -- de aleaciones de cobre, operación que se efectúa a cerca de 1000°C, temperatura esta que no podría ser resistida -- por los aceros del segundo subgrupo.

En este grupo de aceros para trabajos en caliente, puede establecerse también en escala creciente de resistencia del desgaste a alta temperatura: subgrupo primero, subgrupo segundo, subgrupo tercero. En cuanto a tenacidad, el orden equivalente sería: subgrupo tercero, subgrupo segundo, subgrupo primero. Para cada trabajo específico, la elección del tipo de acero tendrá que tener -- en cuenta esta contraposición de las dos propiedades fundamentales.

La tendencia actual en los países industrializados es la delimitación clara entre estos tres subgrupos los que la normalización AFNOR francesa denomina, res--

pectivamente, aceros resistentes al choque mecánico, aceros resistentes al choque térmico y aceros resistentes al desgaste a alta temperatura. Estas denominaciones responden, en líneas generales, a las tres fundamentales aplicaciones de los aceros de trabajos en caliente y al igual de lo que ocurría en el grupo de trabajos en frío, aquí también se dan en las tipificaciones internacionales ligeras variaciones de composición química para manteniendo -- siempre los análisis tipos que hemos expuesto.

ACEROS PARA MOLDES (METALES Y PLASTICOS).

Dentro de este grupo se engloban los moldes para conformación de metales en estado líquido y para la -- conformación de plásticos.

a) Conformación de metales

En este primer subgrupo cabe a su vez hacer la distinción entre colada por gravedad y colada presión --- (fundición inyectada). La colada por gravedad se resuelve en la mayoría de los casos con el empleo de moldes en fundición de hierro, por lo que no vamos a entrar en su -- descripción. Pero, en cambio, cuando además de conformar un metal en estado líquido con la exigencia correspondiente de resistencia a alta temperatura, la herramienta debe

soportar también la presión de la inyección, se hace necesario la utilización de aceros y, dentro de los aceros de algunos grupos bien delimitados.

Para metales y aleaciones de bajo punto de fusión (cinc y plomo), se utilizan con buenos resultados aceros de construcción, tales como los F-125 y F-126 (tabla española del I.H.A.) Solamente cuando se desee una vida muy prolongada de la herramienta podrá utilizarse el acero tipo 40 Cr Mo V 5. Para aleaciones de punto de fusión medio como las de aluminio y magnesio, se utilizan universalmente los aceros de trabajo en caliente de 5% -- de Cr y 1% de Mo, que son los más resistentes a la fatiga térmica.

En aleaciones de cobre (bronce y latones) se exige una superior resistencia al desgaste a alta temperatura y, en tal caso, es el acero 30 W Cr V 9, el que presenta el comportamiento más adecuado.

b) Conformación de plásticos

Se emplean cuatro grupos de aceros:

- aceros de cementación
- aceros de construcción

- aceros inoxidables
- aceros propiamente de herramientas.

Los aceros de cementación se utilizan para conformación de moldes, principalmente por hinchado. Esta operación consiste en la formación de la huella del molde por introducción directa de un punzón que tiene la forma de la pieza que se desea obtener. Evidentemente, el acero debe de encontrarse en el estado más blando posible, para permitir el máximo de deformación plástica sin rotura. -- A continuación del hincado se efectúa la operación de cementación y el tratamiento térmico de temple y revenido. - El molde así preparado puede utilizarse para la inyección o la compresión de plásticos.

El segundo grupo de aceros para moldes de plásticos los constituyen los aceros de construcción, y especialmente los tipos F-125 (I.H.A.) y el F-126 (I.H.A.). -- El primero es más barato, pero puede cumplir muchas de -- las aplicaciones. El F-126 (I.H.A.) es un acero de alta -- templabilidad pudiendo adquirir un pulido especular. Por eso, se aplica especialmente a plásticos transparentes. - Estos aceros de construcción se utilizan generalmente --- (tanto para metales como para plásticos) pretardados a un nivel de 110-130 Kg-mm². Así, el fabricante de la herra-

mienta se evita el tratamiento térmico y todos los inconvenientes que puede suponer. En ocasiones, estos aceros de construcción se utilizan también cementados.

Los aceros inoxidables martensíticos al cromo se utilizan en aquellos casos en que la inyección de un metal o la inyección o compresión de un plástico puede -- originar problemas de corrosión. Ocorre esto en algunas aleaciones de Zn, y en algunos plásticos a base de vinilos, tal como cloruro de polivinilo que desprende ácido clorhídrico en la operación de inyección. En estos casos no queda más solución que acudir a los aceros inoxidables o bien efectuar un cromado superficial de los aceros antes descritos.

Para moldes de plásticos que curan a alta temperatura, como las siliconas, hay que utilizar los aceros de herramientas resistentes a alta temperatura, tales como 40 Cr Ni V 5 6 30 W Cr V 9, aceros con resistencia al ablandamiento a alta temperatura. Utilizando este tipo de aceros, la duración del molde es mayor que en los demás casos.

Este grupo de aceros para moldes es muy recién

te y lo que acabamos de decir es la representación de las tendencias que van en la actualidad configurándose en los países de mayor desarrollo industrial.

ACEROS RAPIDOS

Es seguramente en este grupo en el que se han-- producido y están produciéndose las innovaciones más significativas. Los aceros rápidos comenzaron a fabricarse a principios de este siglo, puestos a punto por Taylor en Estados Unidos (1904). En aquel momento era el tungsteno el elemento base en niveles comprendidos entre 14 y 18%. Este elemento aumenta de una manera considerable la resistencia al desgaste a alta temperatura, hasta tal punto -- que los aceros rápidos pueden trabajar al rojo sin perder el filo cortante. De ahí su nombre de aceros rápidos: aceros que pueden mecanizar muy rápidamente productos metálicos.

En la evolución que ha venido produciéndose en los últimos años, la gran novedad ha sido la sustitución del tungsteno por el molibdeno, a partir de 1930, año en que se descubrieron en los Estados Unidos las minas de -- molibdeno de Colorado. El molibdeno sustituye metalúrgicamente al tungsteno en la proporción de una parte de molibdeno por dos de tungsteno. En esas condiciones el precio

disminuye, manteniéndose todas las propiedades fundamentales de un acero rápido. En consecuencia, en todo el mundo occidental los aceros rápidos al molibdeno se han extendido ampliamente, ganando terreno a los aceros al tungsteno. En Estados Unidos, en 1960, el 90% de los aceros rápidos lo fueron al molibdeno a un nivel mayor o menor de sustitución, dejando siempre algo de tungsteno en la composición. En Europa, en 1970, el 70% aproximadamente del consumo de aceros rápidos corresponde al tipo 6-5-2, mientras solamente el 15% corresponde al clásico 18-4-1.

En Rusia, en cambio, el tungsteno sigue siendo el elemento fundamental, al no poseer minas de molibdeno y sí de tungsteno. De ahí, que en ocasiones, sea el tungsteno quien sustituye al molibdeno incluso en aceros de construcción los típicos C-No-Mo, que en Rusia pueden ser Cr-Ni-W.

La tendencia que viene observándose en estos últimos años es, en el mundo occidental, la sustitución del tungsteno a dos niveles, de un lado de los aceros HS 6-5-2 (también llamadas 6-6-2), que mantienen un 6% de tungsteno y un 5% de molibdeno y, en segundo lugar, los aceros

de 1,5% de tungsteno y 8,5% de Mo (HS 1-8-1). El molibdeno confiere una mayor tendencia a la decarburación en los tratamientos térmicos, y exige también una mayor precisión en la horquilla de temperaturas para los mismos, pero esas son desventajas que quedan ampliamente compensadas por el precio y que pueden evitarse adoptando precauciones no muy costosas.

Dentro del campo de los aceros rápidos se han producido últimamente dos novedades. De un lado la presencia de los aceros de alto carbono y alto vanadio (1,25% carbono, 4% vanadio), tipo HS 6-5-4, en los que la resistencia del desgaste se mejora, aunque presentan dificultades de rectificado.

De otra parte, en la última década se han desarrollado en Estados Unidos los aceros super-rápidos, de los que el HS 2-9-1-8 es uno de los más representativos. Se trata de aceros de carbono relativamente alto, con cobalto, en los que tras temple y tres revenidos, pueden alcanzarse durezas de 68-70 Rc., máximas obtenidas en aleaciones férreas hasta el presente. Estos aceros super-rápidos han empezado a utilizarse en aplicaciones especiales tales como mecanización de aleaciones difíciles, empleadas en missiles y satélites artificiales, pero están

pasando ya al campo de las aplicaciones industriales más--
corrientes.

Las tendencias que advertimos para el futuro --
son la consolidación del grupo de los aceros al molibdeno
entre los que el HS 6-5-2 es el más representativo. Los-
aceros de alto vanadio y el super-rápidos tendrán un cam-
po limitado de aplicaciones a casos específicos y es muy-
probable que la pulvimetalurgia vaya ganando terreno gra-
dualmente a los métodos clásicos de fabricación.

B I B L I O G R A F I A

- (1) *Aceros especiales* - J. Apraiz- Editorial Dossat, Madrid
- (2) *Tratamientos térmicos de los aceros* - J. Apraiz- Edit. Dossat, Madrid.

