

INTRODUCCIÓN A LOS ACEROS

Javier Mendoza del Solar & Miguel Carrión Castilla
Aceros Bohler del Perú S.A

En este documento definiremos en primer lugar lo que es un acero y tratamiento térmico, luego detallaremos los procesos de fabricación de aceros especiales incluyendo procedimientos contemporáneos de alta tecnología, posteriormente se explicara la influencia de los elementos aleantes en el comportamiento mecánico y físico de los aceros y finalmente se expondrán las principales normas internacionales en la especificación del acero por su composición.

1. DEFINICIONES GENERALES

El acero es sin duda el material de ingeniería más utilizado por la humanidad. El nombre de acero engloba una basta grupo de materiales que en muchos casos tienen aplicaciones específicas y en general tienen en el tratamiento térmico una etapa imprescindible para su utilización.

Se denomina acero, a la aleación de Hierro (Fe) y Carbono (C). A esta aleación básica, se suele adicionar otros elementos que confieren al acero propiedades especiales.

De la misma forma, por "Tratamiento térmico" se entiende una gran variedad de opciones, cada cual con su aplicación específica, en función de las propiedades finales deseadas.

2. FABRICACIÓN DE ACEROS ESPECIALES

Las etapas generales del proceso son:

Metalurgia primaria:

- Fundición en hornos eléctricos.
- Desgasificación en vacío.
- Desgacificación por arco bajo vacío (VAD).
- Descarburación con O₂ bajo vacío (VOD).

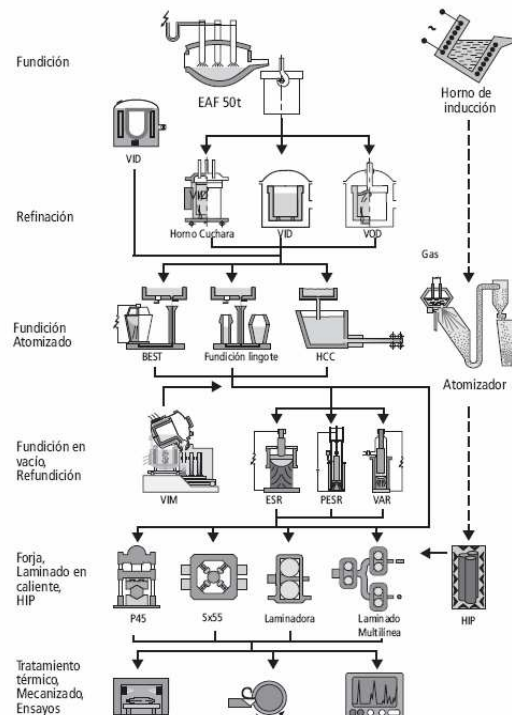
Metalurgia secundaria:

- BEST (Böhler Electro Slag Topping)
- ESR (Electro Slag Remelting)
- VAR (Vacuum Arc Furnace)
- Forja al núcleo prensas especiales, prensa de 4000 TN, conformación especial de los martillos de forjado.

Aceros pulvimetalúrgicos:

- Fundición.
- Producción de polvo.
- Espolvoreado al vacío.
- Encapsulado.

- Proceso HIP (Compactación Isostática en Caliente).



3. INFLUENCIA DE ELEMENTOS ALEANTES

Los constituyentes de aleación son generalmente divididos en carburos, austenita y ferrita que formando diferentes elementos. Además, el propósito de su adición en el acero debe ser tomado en consideración.

Según su contenido cada elemento aleante otorga propiedades específicas al acero. Cuando varios elementos están presente el efecto puede ser mayor, un hecho que es muy utilizado en la tecnología de aleación moderna. Hay sin embargo, composiciones de aleación para las cuales elementos individuales no ejercen su influencia con respecto a una cierta propiedad en la misma dirección, sino se contrarrestan el uno al otro.

La sola presencia de los elementos aleantes crean los requisitos previos para las propiedades deseadas, pero son las operaciones de procesamiento y tratamiento térmico los que permiten lograrlos. Los principales efectos de los elementos de aleación se pueden observar de manera cualitativa en la Tabla 1.

Tabla 1: Efecto de los elementos de aleación en las propiedades del acero

Elemento de aleación	Propiedades mecánicas								Propiedades de los aceros poco magnéticos												
	Dureza	Resistencia	Límite elástico	Elongación	Estricción	Valor de impacto	Elasticidad	Estab. Alta. Temp.	Velocidad enfriamiento	Formación carburos	Resist. desgaste	Forjabilidad	Maquinabilidad	Escamación	Nitrurabilidad	Resist. Corrosión	Ciclo de histéresis	Permeabilidad máxima	Fuerza coercitiva	Remanencia	Pérdida de watt
Silicio	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	↓	-	↓↓	↑↑	↓↓		↓↓↓
Manganeso en aceros perlíticos	↑	↑	↑	~	~	~	↑	~	↓	~	↓↓	↑	↓	~	~	-					
Manganeso en aceros austeníticos	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	-	-	-	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	-	-		↓	↑		↑
Cromo	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	-	↓↓↓	↑↑	↑↑↑	↓	↑	↓		↓
Níquel en aceros perlíticos	↑	↑	↑	~	~	~	-	↑	↓↓	-	↓↓	↓	↓	↓	-	-					
Níquel en aceros austeníticos Cr - Ni	↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	-	↑↑↑	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	-	↑↑					
Aluminio	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓	-	↓↓	↑↑↑	-	↓↓	↑↑	↓↓		↓↓↓
Tungsteno	↑	↑	↑	↓	↓	~	-	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	↑	-					
Vanadio	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↑	-	↓	↑	↑	~	~	~		~
Cobalto	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑↑	↓	~	↓	-	-					
Molibdeno	↑	↑	↑	↓	↓	↑	-	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	↑↑	-	~	~	~		↓
Cobre	↑	↑	↑↑	~	~	~	-	↑↑	-	-	-	↓↓↓	~	~	-	↑	↑	↓	↑		↑
Azufre	-	-	-	↓	↓	↓	-	↑	-	-	-	↓↓↓	↑↑↑	-	-	↓	↑↑	↓↓	↑↑↑		↑↑
Fósforo	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	-	-	-	-	-	↓	↑↑	-	-	-	-	-			-
Carbono	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↓	~	↓	↓	↓				↓	↓		~	↑↑	↓↓	↑↑↑			↑↑

Varias flechas = Efecto severo	↑	Incremento	↓	Reducción	~	Constante	—	No característico o desconocido
--------------------------------	---	------------	---	-----------	---	-----------	---	---------------------------------

4. Clasificación de aceros en función de su composición química

Existen varios tipos de aceros, pero en general se pueden clasificar en:

Aceros al carbono

Son aceros que sólo tienen carbono y no poseen otros elementos de aleación (en proporciones significativas).

- Aceros de bajo carbono (%C < 0,25)
- Aceros de medio carbono (0,25 < % C < 0,55)
- Aceros de alto carbono (2 > % C > 0,55)

Aceros aleados

Son aceros que poseen además del carbono, otros elementos de aleación.

- Aceros de baja aleación (elementos aleantes < 5%).
- Aceros de alta aleación (elementos aleantes > 5%).

4.1 NORMAS INTERNACIONALES

A continuación presentaremos las principales normas internacionales norte americanas (AISI, SAE, UNS) y europeas (DIN, Numero estándar).

4.1.1 Normas americanas

Norma AISI (American Iron and Steel Institute – EE.UU.) y SAE (Society of Automotive Engineers – EE.UU.)

Especificaciones realizadas con 4 números. Además de los números las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo literal para indicar el proceso de manufactura. Las especificaciones SAE emplean las mismas designaciones numéricas que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales.

AISI ZYXX

XX : %C x 100

Y : En el caso de aceros de aleación simple, indica el porcentaje aproximado del elemento predominante de aleación.

Z : Tipo de acero (o aleación).

Si **Z** es igual a:

- 1 : Aceros al Carbono (corriente u ordinario).
- 2 : Aceros al Níquel
- 3 : Aceros al Níquel-Cromo
- 4 : Aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo

- 5 : Aceros al Cromo
- 6 : Aceros al Cromo-Vanadio
- 7 : Aceros Al Tungsteno-Cromo
- 8 : Aceros al Ni-Cr-Mo etc.

Definición de letras adicionales:

- E.... Fusión en horno eléctrico básico.
-H Grados de acero con templabilidad garantizada.
- C.... Fusión en horno por arco eléctrico básico.
- X.... Desviación del análisis de norma.
- TS... Norma tentativa.
- ..B.. Grados de acero con un probable contenido mayor de 0.0005% boro.
- ...LC Grados de acero con extra- bajo carbono (0.03% máx.).
- ...F Grados de acero automático.

Ejemplos:

AISI 1020 { 1 : Acero corriente u ordinario
0 : No aleado
20 : 0,20 %C

AISI C 1020 C : Letra que indica que el proceso de fabricación fue SIEMENS–MARTIN–básico.

Puede ser: B : Bessemer – ácido
E : Horno Eléctrico – básico

AISI 1045 { 1 : Acero corriente u ordinario
0 : No aleado
45 : 0,45 %C

AISI 3215 { 3 : Acero al Níquel-Cromo
2 : 1,6 %Ni, 1,5 %Cr
15 : 0,15 %C

AISI 4140 { 4 : Acero aleado (Cr-Mo)
1 : 1,1 %Cr 0,2 %Mo
40 : 0,40 %C

Generalmente la composición de los aceros no es exacta, existe un rango de tolerancia aceptable en referencia a los valores indicados en normas o catálogos.

Tolerancias en la composición del acero AISI 4140:

C	:	0,38-0,43 %
Mn	:	0,75-1,00 %
Cr	:	0,80-1,10 %
Mo	:	0,15-0,25 %
Si	:	0,15-0,35 %

P : ≤ 0,035 %
S : ≤ 0,040 %

La norma AISI, especifica a los aceros inoxidable utilizando 3 números:

Inoxidables martensíticos:

- 4XX : Base Cr. Medio-alto carbono.
 - 5XX : Base Cr, Mo. Bajo carbono.
- Ejemplos : 410, 416, 431, 440, 501, 502, 503, 504.

Inoxidables ferríticos:

- 4XX : Base Cr. Bajo carbono.
- Ejemplos : 430, 442, 446.

Inoxidables austeníticos:

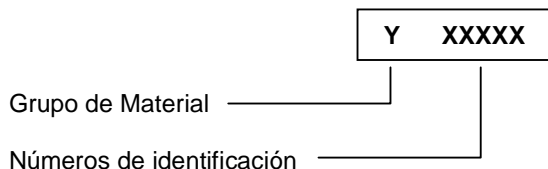
- 3XX : Base Cr, Ni. Bajo carbono.
 - 2XX : Base Cr, Ni, Mn. Bajo carbono.
- Ejemplos : 302, 304, 316, 303, 202.

Para los aceros para herramientas, la norma AISI a formulado códigos específicos:

Grupo	Simbolo	
Alta velocidad (rápidos)	T	Base Tugsteno (%W: 11,75-19,0).
	M	Base Molibdeno (%Mo: 3,25-10,0).
Trabajo en caliente	H	Base Cr, W, Mo.
Trabajo en frío	A	Media aleación, temple al aire.
	D	Alto Cr, Alto C. (%Cr: 11,5-13,5).
	O	Templables al aceite.
Resistencia al Impacto	S	Medio carbono, al Si.
Propósitos específicos	L	Baja aleación, medio-alto carbono.
	F	Alto carbono, al W.
Moldes	P	Baja aleación, bajo carbono.
Templables en agua	W	Alto carbono.

4.1.2 Designación sistemática del grado de acero de acuerdo con UNS (Unified Numbering System)

Estructura de numeración en aceros:



UNS (sistema de numeración unificado)

Axxxxx aluminio y aleaciones de aluminio
Cxxxxx cobre y aleaciones de cobre

Exxxxx tierras raras y metales similares y aleaciones
Fxxxxx hierro fundido
Gxxxxx aceros aleados y al carbono AISI y SAE
Hxxxxx aceros con templabilidad garantizada AISI Y SAE.
Jxxxxx aceros fundidos (excepto aceros para herramientas).
Kxxxxx diversos aceros y aleaciones base hierro.
Lxxxxx metales y aleaciones de bajo punto de fusión.
Mxxxxx varios metales y aleaciones no ferrosas.
Nxxxxx níquel y aleaciones de níquel.
Pxxxxx metales preciosos y aleaciones.
Rxxxxx metales y aleaciones reactivas y refractarias.
Sxxxxx aceros resistentes a la corrosión y temperatura (incluyendo inoxidables), aceros para válvulas y súper aleaciones base hierro.
Txxxxx acero para herramientas, forjado y fundido
Wxxxxx metal de aportación de soldadura
Zxxxxx Zinc y aleaciones de Zinc

UNS	SAE	Tipos de acero
Aceros de carbono		
G10XX0	10XX	Aceros no aleados (Mn 1.0% max.)
G11XX0	11XX	Aceros automáticos (aleado al S)
G12XX0	12XX	Aceros automáticos (aleado al S y P)
G15XX0	15XX	Aceros no aleados (Mn 1.0 - 1.65%)
Aceros aleados		
G13XX0	13XX	Acero Manganeso
G23XX0	23XX	Acero Níquel
G25XX0	25XX	Acero Níquel
G31XX0	31XX	Acero Níquel-Cromo
G32XX0	32XX	Acero Níquel-Cromo
G33XX0	33XX	Acero Níquel - Cromo
G34XX0	34XX	Acero Níquel - Cromo
G40XX0	40XX	Acero Molibdeno
G41XX0	41XX	Acero Molibdeno - Cromo
G43XX0	43XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
G44XX0	44XX	Acero Molibdeno
G46XX0	46XX	Acero Níquel - Molibdeno
G47XX0	47XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
G48XX0	48XX	Acero Níquel-Molibdeno
G50XX0	50XX	Acero Cromo
G51XX0	51XX	Acero Cromo
G50XX6	50XXX	Acero Cromo
G51XX6	51XXX	Acero Cromo
G52XX6	52XXX	Acero Cromo
G61XX0	61XX	Acero Cromo-Vanadio
G71XX0	71XXX	Acero Tungsteno-Cromo
G72XX0	72XX	Acero Tungsteno-Cromo
G81XX0	81XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
G86XX0	86XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
G87XX0	87XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
G88XX0	88XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
G92XX0	92XX	Acero silicio-manganeso
G93XX0	93XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno

G94XX0	94XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
G97XX0	97XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
G98XX0	98XX	Acero Níquel-Cromo-Molibdeno

UNS	SAE	Tipos de acero
GXXXX1 GXXXX4	XXBXX XXLXX	Carbono y Aceros aleados B indica boro *) L indica plomo **)
S2XXXX	302XX (AISI 2XX)	Aceros inoxidables Acero Níquel-Cromo-Molibdeno
S3XXXX	303XX (AISI 3XX)	Acero Cromo-Níquel
S4XXXX	514XX (AISI 4XX)	Acero Cromo
S5XXXX	515XX (AISI 5XX)	Acero Cromo
—	EX --	Aceros de prueba SAE acero de prueba

*) En la UNS el tipo de número, el pasado dígito cambio 0 a 1.

**) En la UNS el tipo de número, el pasado dígito cambio 0 a 4.

4.2 Normas europeas

4.2.1 Norma DIN (Deutsche Industrie Normen – Alemania):

Aceros ordinarios o comunes

Aceros estructurales	Aceros apropiados para trat. térmico	Aceros para herramientas
Abreviatura: St. Resistencia mínima a la tracción en kg/mm^2	Símbolo para el carbono: C. $\%C \times 100$	Símbolo de la calidad: W
Ejemplo: St 42	Ejemplo: C 35	Ejemplo: C 100 W2
Acero al carbono con valor mínimo de resistencia a la tracción de 42 kg/mm^2 .	Acero al carbono de $0,35 \%C$	Acero de herramientas de $1,0 \%C$, calidad 2.

Utilizados generalmente como aceros estructurales.	CK 35 A los aceros con bajo P y S se les añade la letra K: $P < 0,025\%$ y $S < 0,035\%$	W1 : Calidad 1 W2 : Calidad 2 W3 : Calidad 3 W4 : Calidad para fines específicos.
--	---	--

St – X:

X = 1 : Con solicitaciones de resistencia a la corrosión.

X = 2 : Con altas solicitaciones mecánicas.

X = 3 : Calmados, para solicitaciones especiales.

Aceros aleados

ACEROS DE BAJA ALEACION (Elementos aleantes < 5%)	ACEROS DE ALTA ALEACION (Elementos aleantes > 5%)
<ol style="list-style-type: none"> $\%C \times 100$ Símbolos de los elementos de aleación¹. $\%$ de los elementos de aleación². 	<ol style="list-style-type: none"> Letra inicial: X $\%C \times 100$ Símbolos de los elementos de aleación $\%$ de los elementos de aleación³.
Ejemplo: 80 W Cr V 8	Ejemplo: X 10 Cr Ni 18 8
Acero de baja aleación con $0,80 \%C$ y $2,00 \%W$ ² .	Acero de alta aleación con $0,10 \%C$; $18 \%Cr$ y $8 \%Ni$ ³ .

¹ Los elementos de aleación y sus correspondientes porcentajes se ordenan de forma decreciente en función al valor real de dichos porcentajes.

² Para hallar el porcentaje real de los elementos aleantes, dividir entre:

4	para Co-Cr-Mn-Ni-Si-W
10	para Al-Be-B-Cu-Mo-Pb-Nb-Ta-Ti-V-Z
100	para Ce-N-P-S

³ Porcentaje real de los elementos aleantes (no son afectados por ningún factor).

Aceros rápidos

- Letra inicial: HS
- Número en secuencia W, Mo, V, Co expresando el contenido de cada elemento aproximado a números enteros.

Ejemplo:

HS 6-5-2

BÖHLER S600:

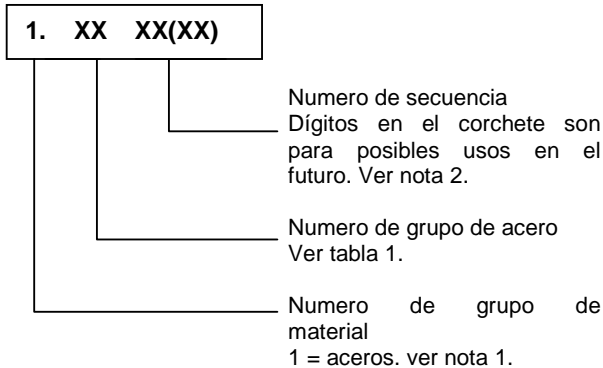
0,9C 4,3Cr 5,0Mo 1,9V 6,4W

4.4 Sistema de Numeración para material acorde con EN (Numero estandar: WNr)

Esta es la norma que se está imponiendo en Europa dada la consolidación de la Comunidad Europea.

Estructura de la numeración de aceros

La estructura de la numeración del acero es a seguir:



Nota 1:
En los números del 2 al 9 podrían ser ubicados otros materiales.

Nota 2:
La presente numeración secuencial comprende dos dígitos. Un incremento en el número de dígitos es necesario para equilibrar el incremento en los grados de acero a ser considerados.

El sistema EN 10020 se basa en los aceros clasificados de acuerdo a su composición química (aceros no aleados y aleados) y la principal categoría de calidad basada en sus principales propiedades y aplicaciones.

La EN 10027-2 organiza y administra la numeración de aceros en aplicación de la Verein Deutscher Eisenhüttenleute "**OFICINA EUROPEA DE REGISTROS DE ACEROS**".

Dirigirse a la tabla 2 a continuación para determinar los tipos de aceros específicos según esta norma EN10020.

En la tabla 2 se especifica la siguiente información en cada recuadro:

- a) Número de grupo de acero, en la parte superior izquierda;
- b) Características principales del grupo de acero;
- c) Rm = Resistencia a la tracción.

Los valores especificados de composición química y resistencia a la tracción (Rm) son sólo de orientación.

De otro lado, la clasificación de los materiales de los grupos 2 y 3 metales bases de acuerdo a los metales bases es dado en la siguiente tabla:

Clasificación de materiales que pertenecen a los grupos 2 y 3 de acuerdo a los metales base no ferrosos

Rangos de numeración	Metales base no ferrosos
2.0000 a 2.1799	Cobre
2.1800 a 2.1999	Reservado
2.2000 a 2.2499	Zinc, cadmio
2.5000 a 2.2999	Reservado
2.3000 a 2.3499	Plomo
2.3500 a 2.3999	Estaño
2.4000 a 2.4999	Níquel, cobalto
2.5000 a 2.5999	Metales nobles
2.6000 a 2.6999	Metales de alta fusión
2.7000 a 2.9999	Reservado
3.0000 a 3.4999	Aluminio
3.5000 a 3.5999	Magnesio
3.6000 a 3.6999	Reservado
3.7000 a 3.7999	Titanio
3.8000 a 3.9999	Reservado

Los números denotan la fusión de lo metales y los equipos de procesos (no más usado en la practica) y la condición. En la industria aeroespacial, los siguientes dígitos son usados para indicar la condición:

- 0 cualquier tratamiento o sin tratamiento térmico.
- 1 normalizado.
- 2 recocido.
- 3 tratado térmicamente para mejorar maquinabilidad o esferoidización.
- 4 templado y revenido o endurecido por precipitación para bajas resistencias.
- 5 templado y revenido o endurecido por precipitación
- 6 templado y revenido o endurecido por precipitación para obtener alta resistencia a la tracción.
- 7 conformado en frío.
- 8 conformado en frío a revenido muelle.
- 9 tratado de acuerdo a instrucciones particulares.

4.3 Designación de aplicación ASTM

Dado el uso generalizado de esta norma norte americana, la comentamos brevemente a continuación.

La norma ASTM no especifica composición directamente, más bien determina la aplicación o ámbito de empleo. Por tanto, no existe una relación directa biunívoca con las normas de composición.

Ejemplo:

- A36: Especificación de aceros estructurales al carbono.
- A285: Especificación de aceros al carbono de baja e intermedia resistencia para planchas de recipientes a presión.
- A325: Especificación para pernos estructurales de acero con tratamiento térmico y una resistencia a la tracción mínima de 120/105 ksi.
- A514: Especificación para planchas aleadas de acero templadas y revenidas con alta resistencia a la tracción, adecuadas para soldar.

Grupos de aplicación

La primera letra de la norma indica el grupo de aplicación:

- AXX: Especificaciones para aceros y hierros.
 - BXX: Especificaciones para no ferrosos.
 - CXX: Especificaciones para concreto, estructuras civiles.
 - DXX: Especificaciones de químicos: Aceites, pinturas, etc.
 - EXX: Especificaciones de métodos de ensayos.
- Otros

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOHLER; SPECIAL STEEL MANUAL. Kapfenberg – Austria. Edición 2000.
2. American Society for Metals Internacional; ADVANCED MATERIALES & PROCESSES: GEM 2002, GUIDE TO ENGINEERED MATERIALES. Diciembre 2001 Volumen 159, No 2.
3. BOHLER; MANUAL DE ACEROS BOHLER Lima-Peru. Edicion 1999.
4. PUCP; Documentos de Metalurgia Mecanica. 1998.

