

COMPENDIO DE NORMAS PARA PRODUCTOS DE ACERO



GERDAU AZA[®]

Palabra de Acero

Tercera Edición, 2000

Indice

Alcances	7
Propiedades de los aceros	8
Ensayo de tracción	9
Ensayo de dureza	10
Ensayo de impacto	12
Ensayo de doblado	12
Clasificación de los aceros	13
Clasificación de los aceros por composición química	14
Clasificación de los aceros Normas SAE, AISI y UNS para clasificar aceros	16
Composiciones de aceros al carbono aplicables a productos semiterminados	17
Aceros estructurales	20
Aceros al carbono	21
Normas para aceros estructurales	22
<i>Tabla 3 recomendaciones para soldar los principales tipos de acero estructural</i>	23
<i>Tabla 4 comparación de propiedades mecánicas de aceros ASTM A36 Y A42-27ES</i>	23
COMPENDIO DE NORMAS CHILENAS	
NCh203. Of 77 – Acero para uso estructural	29
1. - Alcance y campo de aplicación	30
2. - Referencias	30
3. - Terminología	31
4. - Clasificación	31
5. - Obtención de material	31
6. - Composición química	32
<i>Tabla 1 Límites de composición química, en % valores máximos para C, Mn, P y S</i>	32
7- Propiedades mecánicas	33
<i>Tabla 2 Propiedades mecánicas en el ensayo a la tracción</i>	33
<i>Tabla 3 Ensayo de doblado a 180°</i>	34
8. -Tolerancias	34
9. - Presentación de superficies	34
10. - Marcas	36
11. - Extracción de muestras	36
<i>Tabla 4 Tamaño de los lotes para recepción y número de muestras para ensayos</i>	36
12. - Inspección	37
13. - Aceptación y rechazo	37
14. - Certificación	38

NCh204. Of78	
Acero- Barra laminada en caliente para hormigón armado	39
1. - Alcance y campo de aplicación	40
2. - Referencias	40
3. - Terminología	40
4. - Materiales y fabricación	41
<i>Tabla 1 Barras lisas y con resaltes. Intervalos de diámetro según grados de acero</i>	41
5. - Requisitos	42
<i>Tabla 2 Propiedades en el ensayo de tracción valores mínimos</i>	42
<i>Tabla 3 Coeficiente K para ensayo de alargamiento</i>	43
<i>Tabla 4 Características del ensayo de doblado de barras redondas lisas</i>	44
<i>Tabla 5 Características del ensayo de doblado de barras con resaltes</i>	44
<i>Tabla 6 Diámetros nominales, secciones, perímetros y masas nominales de barras lisas y con resaltes</i>	45
<i>Tabla 7 Características de los resaltes</i>	47
<i>Tabla 8 Tolerancia en diámetro de las barras lisas</i>	47
<i>Tabla 9 Tolerancia de masa de barras lisas y con resaltes (rectas)</i>	48
6. - Muestreo	49
<i>Tabla 10 Tamaño de lote para recepción y número de muestras para ensayos</i>	49
7. - Control dimensional y ensayos	49
8. - Aceptación y rechazo	50
9. - Marcas	50
10. - Inspección	50
Anexo	50
NCh697. Of74	
Acero - Barras y perfiles livianos – Clasificación y tolerancia	51
1. - Alcance	52
2. - Referencias	52
3. - Terminología	52
4. - Clasificación	53
5. - Tolerancias de barras y perfiles livianos de acero al carbono laminados en caliente	56
<i>Tabla 1 Tolerancias normales en las dimensiones nominales de la sección transversal de barras laminadas en caliente de sección circular, cuadrada, hexagonal u octogonal (Ver párrafo 5.7)</i>	56
<i>Tabla 2 Tolerancias normales de ancho y espesor para barras laminadas en caliente, de sección rectangular (Ver párrafo 5.7)</i>	57

<i>Tabla 3 Tolerancias especiales de ancho y espesor para barras laminadas en caliente, de sección rectangular (Ver párrafo 5.7)</i>	57
<i>Tabla 4 Tolerancias normales en el espesor, en el ancho, el ala y diferencias entre los aceros de las alas en perfiles ángulo (L) de alas iguales (Ver párrafo 5.7)</i>	58
<i>Tabla 5 Tolerancias normales en las dimensiones nominales de la sección transversal del perfil canal (U). (Ver párrafo 5.7)</i>	59
<i>Tabla 6 Tolerancias normales en las dimensiones nominales de la sección transversal del perfil T (Ver párrafo 5.7)</i>	60
<i>Anexos</i>	61
<i>Tabla de conversión de unidades</i>	63
<i>Tabla comparativa de dureza</i>	70

Alcances

Es frecuente que un importante número de profesionales que comercializan, especifican y aplican productos de acero, busquen ampliar sus conocimientos respecto de este importante material de construcción. GERDAU AZA S.A., empeñada en satisfacer dichas necesidades, ha elaborado este documento que pretende ser una guía a consultas relacionadas con normas, calidades y ensayos del acero.

Se decidió incluir además, un extracto de tres normas chilenas, de muy frecuente consulta por los usuarios: la norma del acero para uso estructural, la de barras para hormigón y la de tolerancias dimensionales de las barras y perfiles laminados.

Si desea contar con una copia adicional de este documento, agradeceremos contactarnos directamente al (02) 641 8663 anexo 131 o bien, bajar su propia copia desde nuestro sitio en la red, www.aza.cl.

Departamento de Marketing

Propiedades de los aceros

Podemos decir que los últimos cien años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero.

El motivo principal está centrado en la enormidad de usos que se le puede dar, y la versatilidad de sus propiedades mecánicas. Otra ventaja, es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiera dar al producto.

Dentro de las propiedades podemos mencionar las siguientes:

- Ductilidad
- Dureza
- Resistencia
- Maleabilidad
- Tenacidad

La primera de ellas, la **ductilidad**, se refiere a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura.

La **dureza** se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.

Analizando el caso de la **resistencia**, específicamente el de la resistencia a la tracción, tendremos que ésta es la fuerza máxima por unidad de área, que puede soportar el acero al ser estirado.

La **maleabilidad** es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de compresión.

Finalmente, la **tenacidad** viene siendo la conjugación de dos propiedades: ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

La forma en que se determinan con qué propiedades cuenta un material, es mediante la realización de diferentes pruebas o ensayos. En base a ellos es posible determinar qué material es el que emplearemos, por ejemplo, en levantar determinada estructura o edificio.

Dentro de los ensayos a que se someten los aceros, destacaremos los más utilizados:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de dureza
- Ensayo de impacto
- Ensayo de doblado

Ensayo de tracción

Debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de este ensayo, es sin duda alguna, uno de los test mecánicos más empleados para el acero. La versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho de que permite medir al mismo tiempo, tanto la ductilidad, como la resistencia. El valor de resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere al diseño. Los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero en cuestión, sin llegar a la rotura del mismo.

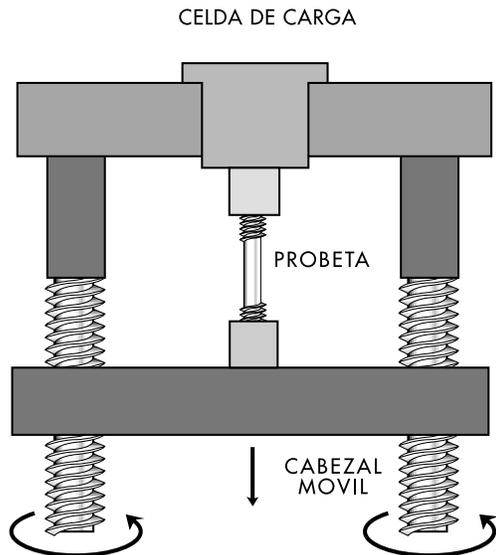


Figura N° 1

Este ensayo consiste en someter una muestra, denominada probeta, de sección uniforme y conocida, a una fuerza de tracción que va aumentando progresivamente. En forma simultánea se van midiendo los correspondientes alargamientos de la probeta.

La figura N° 1 muestra un esquema de una máquina para ensayos de tracción. En ellas se estira la probeta a una velocidad constante.

Con los resultados de la elongación de la probeta, se puede graficar una curva de carga contra alargamiento, que generalmente se registran como valores de esfuerzo y deformación unitarios, y son independientes de la geometría de la probeta (ver Figura N° 2)

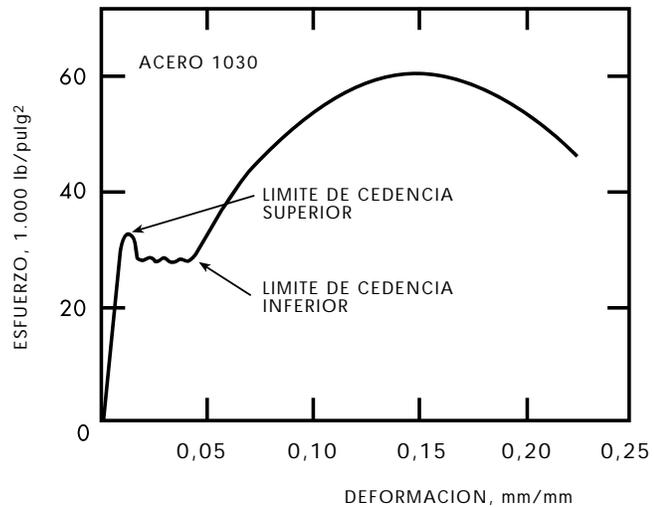


Figura N° 2

Al iniciarse el ensayo, el material se deforma elásticamente; esto significa que si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud inicial. Se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica, esto es, no recuperable. En otras palabras, el material no recupera su longitud inicial si se elimina la carga aplicada.

El esfuerzo alcanza su máximo en el valor de resistencia máxima a la tensión. En este valor de esfuerzo, se forma en la probeta una estricción o cuello, la cual es una reducción localizada en el área de la sección transversal, en la que se concentra todo el alargamiento posterior.

Una vez formado este cuello, el esfuerzo disminuye al aumentar la deformación y continúa disminuyendo hasta que la probeta se rompe.

Ensayo de dureza

El ensayo de dureza mide la resistencia de un material a la penetración de un punzón o una cuchilla. Este penetrador es también llamado durómetro.

El durómetro usualmente consta de una bolita, pirámide o un cono de un material mucho más duro que el acero que se está midiendo.

La profundidad hasta la cual penetra este material nos entrega un valor, el que está tabulando, obteniéndose así una medida de la dureza del acero.

Su uso está ampliamente extendido, especialmente dentro de las áreas de conformado y de tratamiento térmico de los aceros. Una utilización práctica, es la de dar una buena correlación entre las medidas que entrega y otras propiedades que pueden medirse directamente, como la penetración del temple de un acero.

Dado que el ensayo de dureza puede hacerse fácilmente, la información obtenida puede ser evaluada inmediatamente. Por estas razones y por su carácter no destructivo se le usa ampliamente para control de calidad en producción.

Los ensayos de dureza más utilizados en el campo ingenieril, son el Rockwell y el Brinell (véase Figura N° 3)

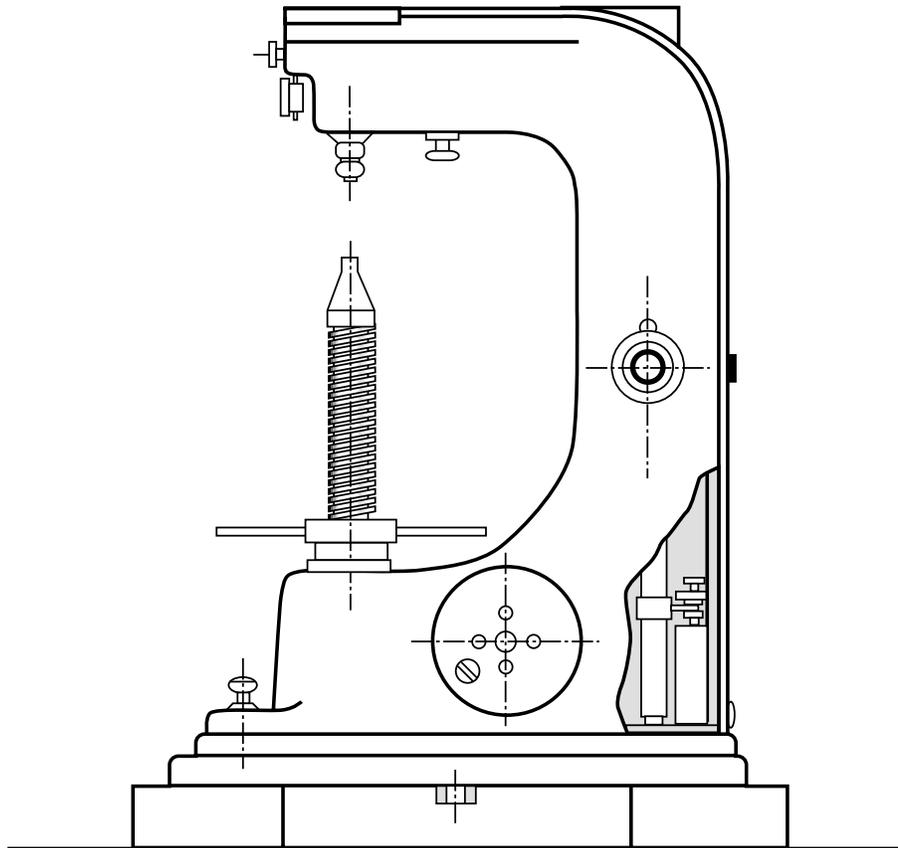


Figura N° 3: Máquina Rockwell.

Dureza Brinell

En él, una esfera de 10 mm de diámetro, usualmente de un acero endurecido, se presiona contra la superficie del material bajo una carga estática de 3.000 kg. El tamaño de la huella nos entrega una medida de la dureza bajo las condiciones del ensayo.

Dureza Rockwell

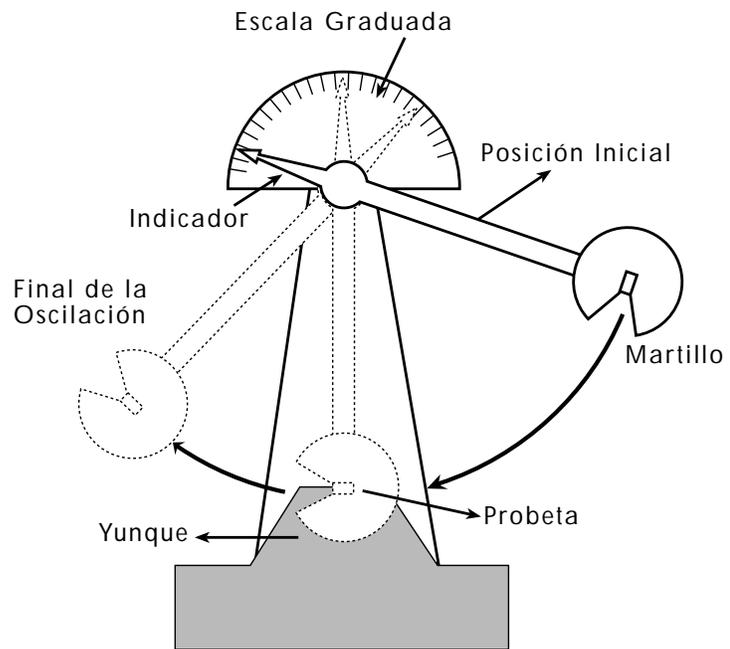
A diferencia del anterior, en el test de Rockwell se aplica primero una carga pequeña (de menos de 10 kg), lo que hace que el indentador penetre hasta una cierta profundidad. Luego se aplica la carga mayor predeterminada. La diferencia en la penetración nos entrega un medida de la dureza del acero.

Ensayo de impacto

Utilizado para medir la tenacidad del acero. En esta prueba, una probeta especial del acero en cuestión, es sometida a un fuerte impacto instantáneo, producto del cual ésta se rompe muy rápidamente (véase Figura N° 4). Este hecho entrega una medida de la energía que se debe aplicar para su fractura, lo que se traduce en un índice de su tenacidad.

Si bien los resultados de los ensayos de impacto no se utilizan directamente para el diseño, son muy útiles como herramienta de la producción, ya que permiten la comparación de un acero con otro que ha dado resultados satisfactorios. Existen dos tipos de ensayo que han alcanzado gran difusión: Charpy e Izod.

Figura N° 4: Esquema de la máquina Charpy para el ensayo de impacto.



Ensayo de doblado

Este ensayo sirve para obtener una idea aproximada sobre el comportamiento del acero a la flexión o esfuerzo de doblado. Se comienza el ensayo, colocando la pieza sobre dos apoyos, cuya separación está normalizada. Se aplica luego, una fuerza controlada y que aumenta paulatinamente hasta que la probeta se dobla completamente o comienzan a aparecer las primeras grietas (véase Figura N° 5).

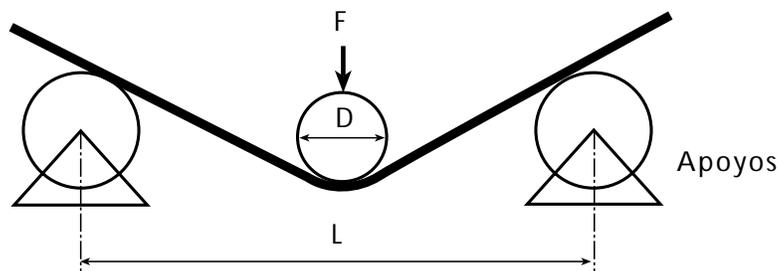


Figura N° 5: Esquema del ensayo de doblado.

Clasificación de los aceros

Introducción

Es muy difícil establecer una clasificación precisa y completa para todos los tipos de acero existentes. Más difícil aún, es establecer una equivalencia exacta entre los aceros de diferentes denominaciones, ya que el ordenamiento de estos materiales en clasificaciones y normas difiere según el país de origen. En el caso de los aceros al Carbono comunes, los sistemas usuales de clasificación –SAE, AISI, COPANT, DIN, etc.- cubren apenas aquellos aceros hasta un porcentaje de Carbono del 1%.

En el caso de los aceros aleados, la elaboración de sistemas de clasificación es más dificultosa aún, debido al constante nacimiento de nuevos tipos de acero, con la presencia de nuevos elementos de aleación. Aún así, para los tipos más comunes de aceros y las cantidades relativamente bajas de elementos aleantes, tanto la SAE, AISI y otras asociaciones técnicas, elaboraron sistemas de clasificación que atienden satisfactoriamente las necesidades de nuestro medio.

Del mismo modo, ya se establecieron los sistemas de clasificación para algunos tipos de aceros especiales – aceros de herramienta, aceros inoxidables, aceros resistentes al calor, etc.

Todas estas clasificaciones especifican principalmente las composiciones químicas de los aceros, subdivididos en un sinnúmero de grupos e incluyendo decenas de análisis químicos diferentes.

En Chile existe un sistema de normalización para aceros ordenado según un criterio basado en las aplicaciones más comunes de este material; como ejemplo se pueden citar las normas NCh 203. Of 77, para aceros de uso estructural, la NCh 204. Of78 para barras laminadas en caliente para hormigón armado, etc.

Para los fines del presente documento, hablaremos de los aceros clasificados de acuerdo a su **composición química** y su **aplicación**.

Clasificación de los aceros por composición química

Este sistema de clasificación de los aceros considera como base la composición química de los aceros, los que a su vez, podrían ser considerados en los siguientes subgrupos:

- **Aceros al Carbono:** aquellos aceros en los que está presente el Carbono y los elementos residuales, como el Manganeso, Silicio, Fósforo y Azufre, en cantidades consideradas como normales.

- **Aceros aleados de baja aleación:** aquellos aceros en que los elementos residuales están presentes arriba de cantidades normales, o donde están presentes nuevos elementos aleantes, cuya cantidad total no sobrepasa un valor determinado (normalmente un 3,0 al 3,5%). En este tipo de acero, la cantidad total de elementos aleantes no es suficiente para alterar la microestructura de los aceros resultantes, así como la naturaleza de los tratamientos térmicos a que deben ser sometidos.

- **Aceros aleados de alta aleación:** aquellos aceros en que la cantidad total de elementos aleantes se encuentra, en el mínimo, de un 10 a 12%. En estas condiciones, no sólo la microestructura de los aceros correspondientes puede ser profundamente alterada, sino que igualmente los tratamientos térmicos comerciales sufren modificaciones, exigiendo técnicas, cuidados especiales y frecuentemente, múltiples operaciones.

- **Aceros aleados de media aleación:** aquellos aceros que pueden ser considerados un grupo intermedio entre los dos anteriores.

Una de las clasificaciones por composición química más generalizadas y que inclusive, sirvió de base para el sistema adoptado en Chile, corresponde a la empleada por la American Iron and Steel Institute – AISI y la Society of Automotive Engineers – SAE.

La tabla 1, extraída del Databook 1988 y editada por la American Society for Metals, muestra la designación adoptada por la AISI y SAE, las cuales a su vez, coinciden con el sistema de numeración Unified Numbering System – UNS, de la American Society for Testing Materials – ASTM y la SAE.

En este sistema, las letras XX o XXX corresponden a las cifras que indican las cantidades porcentuales de Carbono. Por ejemplo, en las designaciones AISI – SAE, la clase 1023 significa acero al Carbono, con un 0,23% de Carbono en promedio y en la designación UNS, la clase G10230, significa la misma cantidad de Carbono promedio.

Por otra parte, los dos primeros dígitos distinguen las variedades de aceros entre sí, con la presencia sólo del Carbono como principal elemento de aleación (además, claro está, de las impurezas normales como el Silicio, Manganeso, Fósforo y el Azufre) o de otros

elementos aleantes, como el Níquel, Cromo, etc. Además del Carbono.

De este modo, cuando los dos primeros dígitos son 10, los aceros son al Carbono; cuando son 11, son aceros de fácil maquinabilidad con alto contenido en Azufre; cuando son 40, los aceros son al Molibdeno con un 0,25 % de Molibdeno en promedio, y así sucesivamente.

Los aceros de alto contenido aleante, como los inoxidables, refractarios, para herramientas, etc. Son clasificados según su composición química empleando una codificación diferente: por ejemplo, un acero al Carbono con un contenido medio de Carbono de 0,45 % como C45; 37 MnSi5, corresponde a un acero con un contenido medio de Carbono igual a 0,35 % y con cantidades medias en Manganeso y Silicio de 1,25%.

Tabla 1: Clasificación de los aceros
Sistemas SAE, AISI y UNS para clasificar aceros

Designación		TIPOS DE ACEROS
AISI – SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aceros al Carbono comunes
11XX	G11XXX	Aceros maquinables, con alto S
12XX	G12XXX	Aceros maquinables, con alto P y S
13XX	G13XXX	Aceros al Manganeso, con 1,75 % Mn
15XX	G15XXX	Aceros al Manganeso, con Mn sobre 1%
40XX	G40XXX	Aceros al Molibdeno, con 0,25% Mo
41XX	G41XXX	Aceros al Cromo-Molibdeno, con 0,40 a 1,1% Cr y 0,08 a 0,35% Mo
43XX	G43XXX	Aceros al Ni-Cr-Mo, con 1,65 a 2% Ni, 0,4 a 0,9% Cr y 0,2 a 0,3% Mo
46XX	G46XXX	Aceros Ni-Mo, con 0,7 a 2% Ni y 0,15 a 0,3% Mo
47XX	G47XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 1,05% Ni, 0,45% Cr y 0,2% Mo
48XX	G48XXX	Aceros Ni-Mo, con 3,25 a 3,25% Ni y 0,2 a 0,3% Mo
51XX	G51XXX	Aceros al Cromo, con 0,7 a 1,1% Cr
E51100	G51986	Aceros al Cromo (horno eléctrico), con 1,0% Cr
E52100	G52986	Aceros al Cromo (horno eléctrico), con 1,45% Cr
61XX	G61XXX	Aceros Cr-V, con 0,6 a 0,95% Cr y 0,1 o 0,15% V mínimo
86XX	G86XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,2% Mo
87XX	G87XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,25% Mo
88XX	G88XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5% Cr y 0,3 a 0,4% Mo
9260	G92XXX	Aceros al Silicio, con 1,8 a 2,2% Si
50BXX	G50XXX	Aceros al Cr, con 0,2 a 0,6% Cr y 0,0005 a 0,003% boro
51B60	G51601	Aceros al Cr, con 0,8% Cr y 0,0005 a 0,003% boro
81B45	G81B51	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,3% Ni, 0,45 de Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003% B
94BXX	G94XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,45% Ni, 0,4 de Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003% B

Tabla 2: Composiciones de aceros al Carbono aplicables a productos semiterminados para laminación en caliente

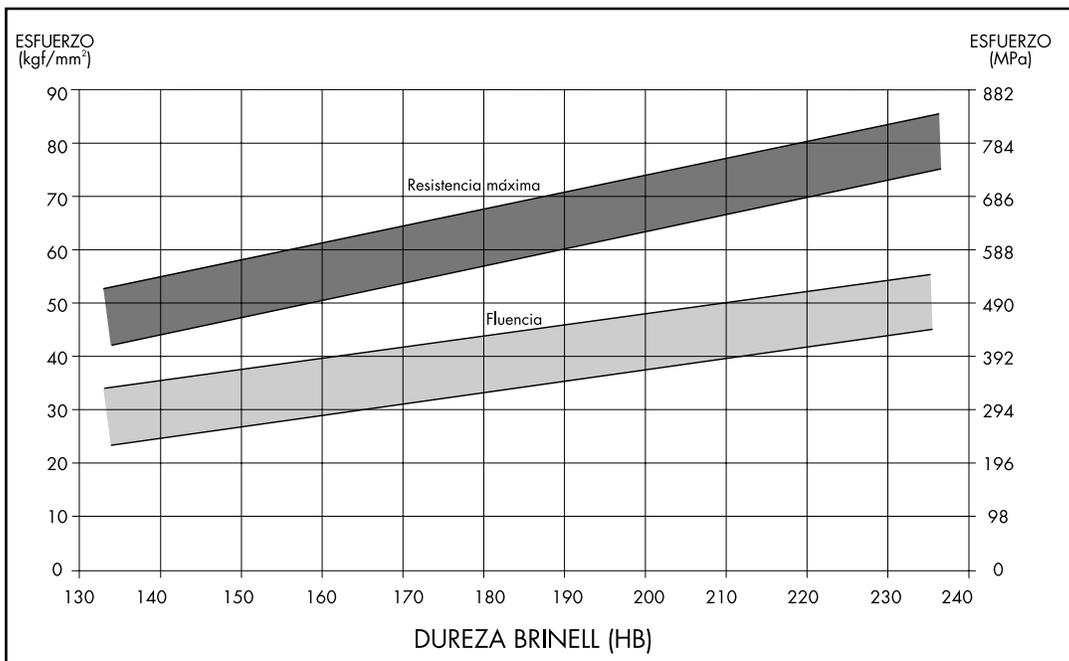
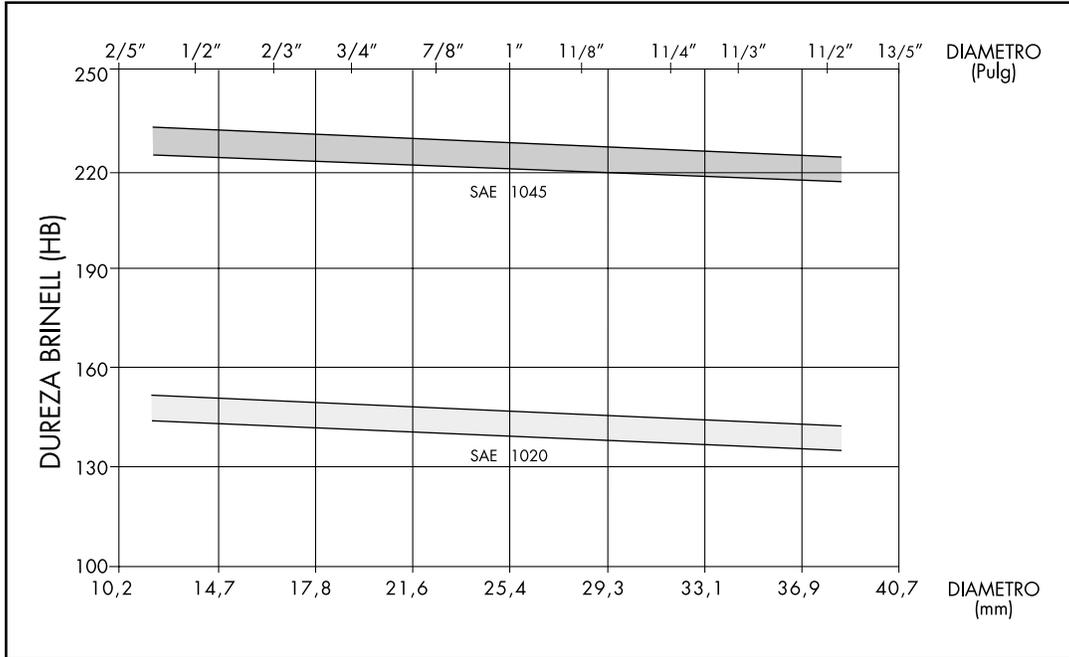
SAE N°	Límites de composición química, %				N° AISI correspondiente
	C	Mn	P, máx	S, máx	
1005	0,06 máx	0,35 máx	0,040	0,050	-
1006	0,08 máx	0,25-0,40	0,040	0,050	1006
1008	0,10 máx	0,30-0,50	0,040	0,050	1008
1010	0,08-0,13	0,30-0,60	0,040	0,050	1010
1012	0,10-0,15	0,30-0,60	0,040	0,050	1012
1013	0,11-0,16	0,50-0,80	0,040	0,050	-
1015	0,13-0,18	0,30-0,60	0,040	0,050	1015
1016	0,13-0,18	0,60-0,90	0,040	0,050	1016
1017	0,15-0,20	0,30-0,60	0,040	0,050	1017
1018	0,15-0,20	0,60-0,90	0,040	0,050	1018
1019	0,15-0,20	0,70-1,00	0,040	0,050	1019
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	0,040	0,050	1020
1021	0,18-0,23	0,60-0,90	0,040	0,050	1021
1022	0,18-0,23	0,70-1,00	0,040	0,050	1022
1023	0,20-0,25	0,30-0,60	0,040	0,050	1023
1024	0,19-0,25	1,35-1,65	0,040	0,050	1024
1025	0,22-0,28	0,30-0,60	0,040	0,050	1025
1026	0,22-0,28	0,60-0,90	0,040	0,050	1026
1027	0,22-0,29	1,20-1,50	0,040	0,050	1027
1029	0,25-0,31	0,60-0,90	0,040	0,050	-
1030	0,28-0,34	0,60-0,90	0,040	0,050	1030
1035	0,32-0,38	0,60-0,90	0,040	0,050	1035
1036	0,30-0,37	1,20-1,50	0,040	0,050	1036
1037	0,32-0,38	0,70-1,00	0,040	0,050	1037
1038	0,35-0,42	0,60-0,90	0,040	0,050	1038
1039	0,37-0,44	0,70-1,00	0,040	0,050	1038
1040	0,37-0,44	0,60-0,90	0,040	0,050	1040
1041	0,36-0,44	1,35-1,65	0,040	0,050	1041
1042	0,40-0,47	0,60-0,90	0,040	0,050	1042
1043	0,40-0,47	0,70-1,00	0,040	0,050	1043
1044	0,43-0,50	0,30-0,60	0,040	0,050	-
1045	0,43-0,50	0,60-0,90	0,040	0,050	1045
1046	0,43-0,50	0,70-1,00	0,040	0,050	1046
1047	0,43-0,51	1,35-1,65	0,040	0,050	-
1048	0,44-0,52	1,10-1,40	0,040	0,050	1048
1049	0,46-0,53	0,60-0,90	0,040	0,050	1049
1050	0,48-0,55	0,60-0,90	0,040	0,050	1050

Continuación Tabla 2

Composiciones de aceros al Carbono aplicables a productos semiterminados para laminación en caliente

SAE N°	Límites de composición química, %				N° AISI correspondiente
	C	Mn	P, máx	S, máx	
1051	0,45-0,56	0,85-1,15	0,040	0,050	-
1052	0,47-0,55	1,20-1,50	0,040	0,050	1052
1053	0,48-0,55	0,70-1,00	0,040	0,050	-
1055	0,50-0,60	0,60-0,90	0,040	0,050	1055
1060	0,55-0,65	0,60-0,90	0,040	0,050	1060
1061	0,55-0,65	0,77-1,05	0,040	0,050	-
1064	0,60-0,70	0,50-0,08	0,040	0,050	1064
1065	0,60-0,70	0,60-0,90	0,040	0,050	1065
1066	0,60-0,71	0,85-1,15	0,040	0,050	-
1069	0,65-0,75	0,40-0,70	0,040	0,050	-
1070	0,65-0,75	0,60-0,90	0,040	0,050	1070
1072	0,65-0,76	1,00-1,30	0,040	0,059	-
1074	0,70-0,80	0,50-0,80	0,040	0,050	1074
1075	0,70-0,80	0,40-0,70	0,040	0,050	-
1078	0,72-0,85	0,30-0,60	0,040	0,050	1078
1080	0,75-0,88	0,60-0,90	0,040	0,050	1080
1084	0,80-0,93	0,60-0,90	0,040	0,050	1084
1085	0,80-0,93	0,70-1,00	0,040	0,050	-
1086	0,80-0,93	0,30-0,50	0,040	0,050	1086
1090	0,85-0,90	0,60-0,90	0,040	0,050	1090
1095	0,90-1,03	0,30-0,50	0,040	0,050	1095

Figura N° 6: Propiedades mínimas para tracción para barras redondas de acero AZA laminadas en caliente



Aceros estructurales



Figura N° 7: Estructura metálica de acero

Entre los materiales de construcción, como es de conocimiento general, el acero tiene una posición relevante; combina la resistencia mecánica, su capacidad de ser trabajado, disponibilidad y su bajo costo. Siendo así, es fácil comprender la importancia y el amplio uso de los aceros en todos los campos de la ingeniería, en las estructuras, sean éstas fijas, como los edificios, puentes, etc. o sean móviles, en la industria ferroviaria, automotriz, naval, aeronáutica, etc.

Para la mayoría de las aplicaciones consideradas, la importancia de la resistencia mecánica es, en cierto modo, relativamente pequeña, del mismo modo que el factor peso no es primordial.

De esta forma, los aceros al Carbono comunes, simplemente laminados y sin ningún tratamiento térmico, son plenamente satisfactorios y constituyen un porcentaje considerable dentro de los aceros estructurales.

En otras aplicaciones, se exige una relación resistencia/peso más satisfactoria. Es el caso de la industria del transporte, en donde el equipo utilizado –camiones, buses, equipo ferroviario, naval, etc.- debido a las condiciones propias del servicio, debe caracterizarse por un peso relativamente bajo y una alta resistencia. Esta condición es fundamental ya que estas estructuras están sujetas a esfuerzos e impactos severos, además de una resistencia a la corrosión adecuada.

Para todas estas aplicaciones, los aceros indicados son los de baja aleación, más conocidos como los de "alta resistencia y baja aleación".

De esta forma, se puede establecer la siguiente división de los aceros empleados en estructuras:

- Aceros al Carbono
- Aceros de alta resistencia y baja aleación

Por razones de importancia para nosotros, se dará especial énfasis a los aceros al Carbono.

Aceros al Carbono

Los requisitos fundamentales que deben cumplir estos aceros, son los siguientes:

- Ductilidad y homogeneidad.
- Valor elevado de la relación resistencia mecánica/límite de fluencia.
- Soldabilidad.
- Apto para ser cortado por llama, sin endurecimiento.
- Resistencia a la corrosión, razonable.

Con excepción de la resistencia a la corrosión, todos los otros requisitos son satisfechos en mayor o menos grado, por los aceros al Carbono de bajo a medio Carbono, que son obtenidos por laminación y cuyos límites de resistencia varían de 40 a 50 Kgf/mm² y alargamientos que están en torno al 20%.



De hecho, un contenido relativamente bajo de Carbono y el trabajado en caliente de laminación de los perfiles estructurales, garantizan la ductilidad necesaria, además de la **homogeneidad** en todo el producto. La **ductilidad** de estos aceros garantiza una excelente trabajabilidad en operaciones como el corte, doblado, perforado, etc., sin que se originen fisuras u otros defectos.

Figura N° 8: Productos de GERDAU AZA S.A.

El **límite de fluencia**, así como el **módulo de elasticidad**, son las características del acero que se utilizan en el proyecto y el cálculo de una estructura.

La **soldabilidad** por otra parte, es otra característica muy importante en este tipo de material de construcción, ya que la soldadura de los elementos y piezas en una estructura, es práctica común. Los aceros al Carbono comunes también satisfacen este requisito, pues deben ser soldados sin alterar su microestructura. Del mismo modo, el corte por llama, muy empleado en piezas estructurales, poco afecta a estos aceros, desde el punto de vista de sus alteraciones microestructurales en las proximidades de la zona de corte.

Finalmente, la **resistencia a la corrosión** sólo es alcanzada por la adición de pequeñas cantidades de cobre, elemento que adicionado en cantidades muy bajas (0,25%) mejora esta propiedad en dos veces en relación al mismo acero sin cobre.

Para la mayoría de las aplicaciones estructurales, la cantidad de Carbono de estos aceros varía entre 0,15% a 0,40%, con otros elementos (Mn, Si, P y S) en cantidades consideradas normales. Un acero con Carbono y Manganeso de un 0,20% y 0,50% respectivamente, presenta un límite de fluencia de 25 Kgf/mm² y una resistencia mecánica de 42 Kgf/mm².

Un aumento del contenido de Carbono eleva estos límites, actuando en el mismo sentido pero en menor grado, del aumento de contenido de Manganeso.

En las estructuras, los perfiles de acero al Carbono utilizados son los más diversos, sobresaliendo los siguientes: barras redondas, cuadradas, hexagonales, planas, ángulos, canales, perfiles doble T, etc.

Todos estos productos son laminados en caliente y empleados en ese estado, sin otro tratamiento térmico o mecánico posterior.

Normas para aceros estructurales

En nuestro país, los aceros estructurales están normalizados por el Instituto Nacional de Normalización y sus requisitos se describen en la Norma Chilena Oficial NCh 203. Of77. Dicha norma se aplica a los productos planos, perfiles y barras de uso en la construcción de estructuras.

De acuerdo a las designaciones adoptadas, los aceros estructurales nacionales han adoptado tres grados de aceros, según sus características mecánicas; estos son el A37-24ES, A42-27ES y A52-34ES.

En esta nomenclatura, la letra A significa que el material es cero al Carbono; los números se refieren a la resistencia a la tracción y al límite de fluencia mínimo por tracción, respectivamente expresados en Kgf/mm^2 ; la letra E indica que el acero es para usos estructurales y la letra S que el acero es de soldabilidad garantizada.

A continuación, en la tabla 3, se muestran algunas recomendaciones de soldaduras para aceros estructurales y para uso de cerrajería.

Tabla 3:
Recomendaciones para soldar principales aceros estructurales.

Norma o Especific.	Designación el Acero	Clasificación de los electrodos según AWS										Precalentamiento recomendado °C
		E6010	E6011	E6012	E6013	E6027 (*)	E7014 (***)	E7024 (*)	E7018 (**)	E7018 (**) A1	E8016 C1	
203 Of 78	A42-27ES	•	•	•	•	•	•	•	•			90-150
	A52-34ES								•		•	90-150
ASTM	A36	•	•	•	•	•	•	•	•			90-150
SAE o AISI	1010 al 1020	•	•	•	•	•	•	•	•	•		Sobre 90
	1033 al 1045								•		•	150-260

(*) Posición a soldar: Plana, horizontal y Filete

(**) Electrodo con bajo Hidrógeno

(***) Electrodo con contenido de Carbono 0,08%

A1 Electrodo de acero con 0,5% de Molibdeno

C1 Electrodo de acero con 2,5% de Níquel y 1,2% de Manganeso.

Las propiedades mecánicas que deben cumplir los productos de acero laminados, de acuerdo a esta norma, se indican en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4:
Propiedades mecánicas mínimas de aceros estructurales.

Grados del acero	Resistencia a la tracción Kgf/mm ²	Límite de fluencia mín Kgf/mm ²	Alargamiento mínimo % (**)
A37-22ES	37 a 42	24	22
A42-27ES	42 a 52	27	20
A52-34ES	52 a 62	34	18

* Aplicable a productos con espesores menores o iguales a 16 mm

** Para espesores de productos menores o iguales a 16 mm y mayores a 5 mm

Un segundo requisito que debe cumplirse en esta norma, es que los productos laminados deberán resistir un doblado a 180° sin que se observen grietas en la zona sometida a tracción.

Finalmente, para garantizar la soldabilidad del producto, sin que sea necesario someter a tratamientos especiales el cordón y dar garantías de unión bajo cargas de servicio, el acero debe cumplir exigencias en su composición química. Por ejemplo, el acero A42-27ES admite como máximos en Carbono, Manganeso, Fósforo y Azufre 0,27%, 1,30%, 0,05% y 0,063% respectivamente.

No obstante lo anterior, la soldabilidad puede estar limitada si no se toman precauciones, en especial cuando el material se emplea en un componente crítico, un mal diseño de la junta a soldar, baja temperatura ambiental, equipo de soldador defectuoso, procedimientos inconvenientes, electrodos inapropiados o el operador soldador no calificado.

En los Estados Unidos, la Norma de aceros al Carbono estructurales más popular es la ASTM A36, que reemplazó desde 1960 los grados ASTM A-373 y A-7.

A continuación, en la Tabla 5, se muestran los valores de propiedades mecánicas de acero ASTM A36 en comparación con los valores de la NCh 203 para el acero A42-27ES.

Tabla 5:
Comparación de propiedades mecánicas de aceros
ASTM A36 Y A42-27ES.

Características	Espesor, e al que se aplica, mm		Unidad de medida (*)	Grados de aceros	
	A42-27ES	ASTM A36		A42-27ES	ASTM A36
Resistencia a la Tracción, R_m	Todos	(**)	Kgf/mm ²	$42 \leq R_m \leq 52$	$41 \leq R_m \leq 56$
Límite de Fluencia mínimo, R_e	$e \leq 16$	(**)	Kgf/mm ²	27	25
Alargamiento Porcentual de Rotura, A, en Probetas de $L_0 = 50$ mm	$e \leq 5$ $5 \leq e \leq 16$ $16 \leq e \leq 50$	(**)	% mín % mín % mín	22 20 18	19

* De acuerdo con NCh 22, $1 \text{ Kgf/mm}^2 = 9,80665 \text{ MPa}$

** Para perfiles de sección inferior a 645 mm², o barras de diámetro inferior a 13 mm, no se exige ensayo de tracción al fabricante.

Respecto a los requisitos de esta norma en la composición química del acero, la siguiente Tabla 6 muestra dichas especificaciones:

Tabla 6
ASTM A36: Requisitos de composición química según los productos.

Elementos	Perfiles	Barras	
	Todos	Hasta 19 mm	Sobre 19 hasta 38 mm
% C, máx	0,26	0,26	0,27
% Mn	-	-	0,60 a 0,90
% P, máx	0,04	0,04	0,04
% S, máx	0,05	0,05	0,05
% Si	-	-	-
% Cu mín	0,20	0,20	0,20

En Alemania, la norma DIN 17100 clasifica los aceros para construcción en general, en función de su resistencia a la tracción. De esta forma, la designación St 42 corresponda a un acero con resistencia a la tracción entre 42 a 50 Kgf/mm²; si es St 37, la resistencia a la tracción mínima es de 37 Kgf/mm².

Dependiendo del contenido de Carbono, esta designación incluye un dígito separado por un guión. Por ejemplo, St 37-1 significa que dicho acero admite un %C de hasta 0,20%. Si el dígito es 2, entonces el máximo de Carbono es 0,18%; si es 3,0, 17% de Carbono. En el caso de los aceros St 42, el dígito 1 significa un contenido de Carbono máximo de 0,25%; 2 también significa un 0,25% y 3, un máximo de 0,23%.

Compendio de Normas Chilenas

Extracto de Norma **NCh203. Of77** Acero para Uso Estructural.
Requisitos.

Extracto de Norma **NCh204. Of78** Acero - Barras Laminadas en Caliente
para Hormigón Armado.

Extracto de Norma **NCh697. Of74** Acero - Barras y Perfiles
Livianos - Clasificación y Tolerancias.

Acero para uso estructural – Requisitos.

Nota:

La información de este compendio fue extraída y resumida del documento oficial del I.N.N. El documento oficial fue aprobado por el H. Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión de fecha 19 de Mayo de 1976, el que fue declarado Norma Chilena Oficial de la República de Chile, por Decreto N° 314 del Ministerio de Obras Públicas de fecha 11 de Marzo de 1977. Para una consulta de la norma oficial, recomendamos al usuario hacerlo directamente al I.N.N., o al sitio www.inn.cl.

1. Alcance y campo de aplicación

- 1.1 La norma NCh 203.Of77 establece los requisitos que deben cumplir los productos de acero al carbono, laminados en caliente, destinados a emplearse en construcciones estructurales de acuerdo con las normas de construcción correspondientes.
- 1.2 Esta norma se aplica a los productos planos, a los perfiles y a las barras destinadas al uso indicado en el 1.1
- 1.3 Los aceros se clasifican en 3 grados según se indican en el punto 4 **Clasificación**.

2. Referencias

NCh22.Of	Física. Mecánica. Magnitudes y unidades.
NCh200.Of	Productos metálicos. Ensayo de tracción.
NCh201.Of	Acero. Ensayo de doblado de planchas de espesor superior o igual a 3 mm, barras y perfiles.
NCh202.Of	Acero. Ensayo de doblado simple y alternado de planchas y flejes de espesores menores que 3 mm.
NCh209.Of	Acero. Planchas gruesas para usos generales. Especificaciones.
NCh304.Of	Electrodos para soldar al arco manual. Terminología y clasificación.
NCh501.Of	Acero. Extracción y preparación de muestras para análisis químico de acero al carbono y de sus productos.
NCh697.Of	Acero. Barras y perfiles livianos. Clasificación y tolerancias.
NCh701.Of	Acero. Planchas delgadas de acero al carbono laminadas en caliente. Tolerancias.
NCh702.Of	Acero. Planchas delgadas de acero al carbono laminadas en frío. Tolerancias.
NCh703.Of	Acero. Planchas gruesas de acero al carbono laminadas en caliente. Tolerancias.

3. Terminología

- 3.1 **Análisis de Cuchara:** Es el representativo de la composición química del metal líquido recibido en una cuchara; este análisis se obtiene a partir de un lingote de muestra extraído de la porción inicial o de la porción media del metal vertido en la cuchara.
- 3.2 **Análisis de Comprobación:** Es el representativo de la composición química del metal una vez elaborado; este análisis se obtiene a partir de virutas extraídas del producto laminado y está destinado a conocer la composición química del producto o a determinar las variaciones de la composición química con respecto a la del análisis de cuchara.
- 3.3 **Acero de soldabilidad garantizada:** Acero que, sin ser sometido a tratamientos especiales, puede ser soldado en las condiciones de la obra, dando garantías de seguridad de la unión bajo las cargas de servicio. Para los efectos de esta norma se entenderá que la soldabilidad se refiere a la soldadura eléctrica por arco protegido, efectuada con operarios y métodos calificados de acuerdo con las normas correspondientes. La garantía de soldabilidad del acero se refiere al cumplimiento de las exigencias de composición química que se indican en la Tabla 1.
- 3.4 En las designaciones adoptadas, la letra A indica que el material es acero al carbono; los números se refieren a la resistencia a la tracción y al límite de fluencia mínimo por tracción, respectivamente expresados en Kgf/mm²; la letra E indica que el acero es para usos estructurales; la letra S que el acero es de soldabilidad garantizada.
- 3.5 Otros términos empleados en esta Norma se encuentran en Terminología de las Normas NCh200 y NCh209.

4. Clasificación

Los productos de acero al carbono que considera esta Norma, se clasificarán, según las características mecánicas del acero, en tres grados que se indican en la Tabla 2 de esta Norma, designándose éstos por: A37-24ES, A42-27ES y A52-34ES.

5. Obtención del material

El acero se fabricará por los procesos de solera abierta (Siemens Martin), básico al oxígeno o de horno eléctrico.

6. Composición química

6.1 Los aceros cumplirán con los límites de composición química que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1
Límites de composición química, en %.
Valores máximos para C, Mn, P y S.

Composición	A37-24ES		A42-27ES		A52-34ES	
	Análisis de cuchara	Análisis de comprobación	Análisis de cuchara	Análisis de comprobación	Análisis de cuchara	Análisis de comprobación
C	0,22	0,26	0,23	0,27	0,24	0,28
Mn	1,15	1,20	1,25	1,30	1,45	1,50
P	0,040	0,050	0,040	0,050	0,040	0,050
S	0,050	0,063	0,050	0,063	0,050	0,063
Cu mín. (*)	0,20	0,18	0,20	0,18	0,20	0,18

(*) El contenido mínimo de cobre rige sólo cuando se especifica acero con cobre.

7. Propiedades mecánicas

7.1 Ensayo a la tracción

- 7.1.1 Los productos de acero laminados de acuerdo a esta Norma, deberán cumplir con las propiedades mecánicas que se indican en la Tabla 2.
- 7.1.2 El ensayo a la tracción, se realizará según Norma NCh200 en probetas longitudinales al sentido de laminación.

Tabla 2:
Propiedades mecánicas en el ensayo a la tracción

Características	Espesor, e, a que se aplica, mm	Unidad de medida (*)	Grados de Acero Estructural		
			A37-24ES	A42-27ES	A52-34ES
Resistencia a a tracción, R_m	Todos	MPa (Kgf/mm ²)	$363 \leq R_m \leq 461$ ($37 \leq R_m \leq 47$)	$412 \leq R_m \leq 510$ ($42 \leq R_m \leq 52$)	$510 \leq R_m \leq 608$ ($52 \leq R_m \leq 62$)
Límite de mínimo fluencia, R_e	$e \leq 16$	MPa (Kgf/mm ²)	235 (24)	265 (27)	324 (34)
	$16 \leq e \leq 32$	MPa (Kgf/mm ²)	226 (23)	255 (26)	324 (33)
	$32 < e \leq 50$	MPa (Kgf/mm ²)	216 (22)	245 (25)	314 (32)
Alargamiento porcentual de rotura, A, en probeta de $L_0=50$ mm	$e \leq 5$	% mín	24	22	20
	$5 < e \leq 16$	% mín	22	20	18
	$16 < e \leq 50$	% mín	20	18	16

(*) De acuerdo con NCh22, $1 \text{ Kgf} / \text{mm}^2 = 9,80665 \text{ MPa}$.

7.2 Ensayo de doblado

- 7.2.1 Probetas representativas de los productos laminados de acuerdo con esta Norma, deberán resistir un doblado a 180° sin que se observen grietas en la zona sometida al esfuerzo de tracción.
- 7.2.2 Este ensayo se efectuará según Norma NCh201 en probetas transversales al sentido de laminación y alrededor de un cilindro, cuyo diámetro se indica en la Tabla 3.

Tabla 3
Ensayo de doblado a 180°

Espesor nominal, e (mm)	Grado de Acero Estructural (*)		
	A37-24ES	A42-27ES	A52-34ES
$e \leq 5$	d= e	d=1,5 e	d=2,5 e
$5 < e \leq 16$	d= e	d=1,5 e	d=2,5 e
$16 < e \leq 32$	d= 2 e	d=2,5 e	d=3,5 e
$32 < e \leq 50$	d= 3 e	d=3,5 e	d=4,5 e

(*) En estas relaciones, d= diámetro del mandril o cilindro doblador.

8. Tolerancias

Los productos laminados de acuerdo con esta Norma deberán cumplir con las tolerancias indicadas en las Normas NCh697; NCh701; NCh702 y NCh703.

9. Presentación de superficie

- 9.1 Los productos de acero laminado conforme a esta Norma no deberán presentar defectos de superficie, tales como: grietas, pliegues, picaduras u otros defectos visibles que afecten las propiedades mecánicas de ellos o el espesor o diámetro nominal más allá de la tolerancia establecida.
- 9.2 Se permitirá remover por medios mecánicos, los fragmentos de óxido, laminilla u otras imperfecciones de la superficie, siempre que el espesor o diámetro del producto en los puntos reacondicionados cumpla con la tolerancia que se establecen punto 8 **Tolerancias**, de esta Norma.

9.3 Reparación por soldadura

- 9.3.1 Por acuerdo previo entre productor y comprador, se permitirá la reparación de los sectores afectados por defectos, mediante soldadura al arco eléctrico.
- 9.3.2 Todos las soldaduras se harán empleando soldadores calificados, usando electrodos de bajo hidrógeno que corresponda al grado de acero a soldar, de acuerdo al tipo, clase y grado de electrodo que se prescriben en la Norma NCh304.
- 9.3.3 Las soldaduras y zonas adyacentes afectadas por el calentamiento estarán sanas y libres de grietas. El metal de aporte debe estar adherido por fusión a toda la superficie y bordes, sin mostrar socavación o exceso sobre el borde de la superficie de la reparación.
- 9.3.4 Cualquier grieta visible, porosidad, falta de fusión o socavación en cualquier capa, será removida antes de agregar la siguiente capa de soldadura. El metal de aporte debe sobresalir por lo menos 1,5 mm sobre la superficie de la plancha después de soldada y el exceso depositado se removerá por cincelado o esmerilado o ambos para dejarlo al mismo nivel con la superficie laminada y producir un acabado de aspecto manual.
- 9.3.5 El productor deberá establecer y exhibir los ensayos que acrediten que el procedimiento de soldadura es apropiado para el material que se reparará por soldadura.

10. Marcas

Los productos de acero laminados conforme a esta Norma tendrán una marca estable que los identifique, efectuado con pintura o por algún otro procedimiento.

11. Extracción de muestras

11.1 Extracción de muestras para ensayos

- 11.1.1 El tamaño de los lotes para la recepción y el número de muestras para los ensayos, se indican en la Tabla 4.

Tabla 4
Tamaño de los lotes
para recepción y número de muestras para ensayos.

Tamaño del lote, N (toneladas)	Número de muestras por lote
N < 30	1
30 ≤ N	2

- 11.1.2 Si el lote está formado por productos laminados con acero de varias coladas, se extraerá como mínimo una muestra por colada.
- 11.1.3 Si con acero de una misma colada se laminan productos cuyo espesor difiere en 10 mm o más, se extraerán como mínimo dos muestras para ensayos, una en el producto de mayor espesor y otra en el de menor espesor.

11.2 Extracción de muestras para análisis de comprobación

- 11.2.1 Cuando sean necesario efectuar análisis de comprobación, se extraerá una muestra por colada o por lote.
- 11.2.2 Para este efecto se extraerán 200 g de viruta como mínimo. La viruta correspondiente a esta muestra se extraerá de acuerdo a la Norma NCh501, se mezclará bien y se dividirá en tres partes iguales, de las cuales se reservarán dos para verificaciones posteriores.

12. Inspección

- 12.1 Mientras se fabrica una orden conforme a la presente Norma, el comprador podrá enviar un inspector a la planta del productor, quien le facilitará libre acceso a las secciones de fabricación, inspección y control que intervengan en la producción y despacho del material.
- 12.2 Por acuerdo previo entre productor y comprador, todo el control requerido para la recepción del material se hará en conjunto con el productor, en el lugar mismo de fabricación, de tal modo que en ningún caso se interfiera con los procesos de producción y despacho.
- 12.3 La recepción que se indica en el punto 12.2 podrá hacerse por el comprador por sí o por una organización de inspección.

13. Aceptación y rechazo

13.1 Rechazo

- 13.1.1 Los defectos internos de los productos laminados, tales como rechupes, u otros que afecten el uso práctico del material, serán causa de rechazo.
- 13.1.2 Si las probetas del lote u hornada no cumplen con los requisitos de esta Norma, el lote u colada se considerará rechazado.
- 13.1.3 No obstante lo anterior, en el caso de que una probeta muestre fallas, ésta podrá ser reemplazada por otra. Igualmente, si la fractura queda fuera del tercio medio de la distancia entre marcas de la probeta, a raíz de lo cual el porcentaje de alargamiento es inferior al indicado en el punto 7.1 de esta Norma, el ensayo se considerará nulo y se efectuará nuevamente con otra probeta.
- 13.1.4 Si el comprador rechaza el total o parte del material, porque éste no cumple con alguno de los requisitos de esta Norma, deberá notificar al proveedor dentro de 90 días de haber recibido el material.
- 13.1.5 El proveedor tendrá 45 días después de haber sido notificado, para reinspeccionar el material rechazado para efectuar los ensayos de comprobación necesarios en un laboratorio elegido por acuerdo entre el productor y comprador.

13.2 Remuestreo

- 13.2.1 No obstante lo dispuesto en los puntos 13.1.1 y 13.1.2, se permitirá un remuestreo del lote u colada.
- 13.2.2 Para proceder al remuestreo, se extraerá un número de muestras igual al doble del número indicado en el punto 11.1
- 13.2.3 Todas las probetas de este remuestreo deberán cumplir con lo especificado para que el lote sea aceptado.
- 13.2.4 Si el análisis de comprobación no cumple con lo establecido en el punto 6 **Composición química** de esta Norma, se efectuarán dos análisis más, con las muestras reservadas para este fin. Si los dos ensayos suplementarios son satisfactorios, el material será aceptado; en caso contrario, se le rechazará.

14. Certificación

- 14.1 A petición del comprador, el productor entregará certificados de ensayos y de composición química correspondiente al análisis de cuchara, expedidos por sus propios laboratorios.
- 14.2 El análisis de comprobación se realizará sólo cuando se solicite especialmente por el comprador o cuando surja desacuerdo entre éste y el productor respecto al análisis de cuchara. En este último caso, el análisis de comprobación será realizado por un laboratorio nombrado de común acuerdo.

Acero – Barras laminadas en caliente, para hormigón armado

Nota:

La información de este compendio fue extraída y resumida del documento oficial del I.N.N. El documento oficial fue aprobado por el H. Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión efectuada el 11 de Noviembre de 1977, el que fue declarado Norma Chilena Oficial de la República de Chile, por Decreto N° 029 del Ministerio de Obras Públicas de fecha 10 de Enero de 1978. Para una consulta de la norma oficial, recomendamos al usuario hacerlo directamente al I.N.N., o al sitio www.inn.cl.

1. Alcance y campo de aplicaciones

- 1.1 Este documento establece los requisitos que deben cumplir las barras de acuerdo de sección circular laminadas en caliente, a partir de lingotes y palanquillas.
- 1.2 Esta Norma se aplica a las barras lisas y con resaltes, especificadas en el punto 1.1 destinados a emplearse en hormigón armado.

2. Referencias

NCh200.Of	Acero – Ensayos de tracción
NCh201.Of	Acero – Ensayos de doblado de planchas de espesor superior o igual a 3 mm – Barras y perfiles.
NCh429.Of	Hormigón Armado – I Parte
NCh430.Of	Hormigón Armado – II Parte

3. Terminología

- 3.1 **Barra redonda lisa:** barra cuya sección transversal es uniforme en todo su largo y se caracteriza por el diámetro nominal, e .
- 3.2 **Barra con resaltes:** barra con o sin nervios longitudinales y con nervios perpendiculares o inclinados con respecto a su eje. Su diámetro nominal se determina por la expresión $e = 12,74 \sqrt{M}$ (mm), en que M , es la masa de la barra en kg/m.
- 3.3 **Diámetro normal:** es el que corresponde a un diámetro preferido para laminar.
- 3.4 **Longitud normal:** es la que corresponde a un largo preferido para cortar.
- 3.5 **Sección nominal de la barra con resaltes:** área del círculo de diámetro nominal corresponde.
- 3.6 **Perímetro nominal de la barra con resaltes:** largo de la circunferencia del diámetro nominal correspondiente.
- 3.7 **Partida:** es el conjunto de barras del mismo tipo, diámetro nominal y grado de acero de un pedido. La partida se divide en lotes para los efectos de la recepción técnica.

- 3.8 **Lotes:** es el conjunto de barras del mismo tipo, diámetro nominal, grado de acero y largo normal, agrupadas para los efectos de la recepción técnica según el punto 6, **Muestreo**.
- 3.9 En las designaciones adoptados por el Instituto Nacional de Normalización, la letra A indica que se trata de acero al carbono, los números se refieren a la resistencia a la tracción y al límite de fluencia mínimo por tracción, respectivamente, expresados en Mpa/10 y la letra H indica que el acero es para uso en hormigón armado.
- 3.10 Los demás términos empleados en esta Norma se encuentran definidos en las normas citadas en el punto 2, **Referencias**.

4. Materiales y fabricación

- 4.1 El acero se debería fabricar por uno de los procedimientos siguientes: horno de solera abierta (Siemens Martin), horno eléctrico o básico al oxígeno y debe corresponder a los dos grados siguientes: A44-28H y A63-42H(*).
- 4.2 Las barras se deben laminar en caliente a partir de lingotes y palanquillas.
- 4.3 Las barras son de dos tipos: lisas o con resaltes. Sin embargo, las barras de acero grado A44-28H podrán fabricarse lisas o con resaltes, y las de acero A63-42H, sólo con resaltes, en los diámetros que indican en la Tabla 1.

Tabla 1: Barras lisas y con resaltes.
Intervalos de diámetro según grados de acero

Tipos de barra	Diámetro en milímetros	
	A44-28H	A63-42H
Barras lisas (**)	5-16	-
Barras con resaltes	8-40	8-36

(*) La norma oficial actual, establece dos grados adicionales: A37-24H y A56-35H, que en la práctica están en desuso, por lo que no se incluyen en este extracto.

(**) En la práctica, las barras lisas del grado A44-28H sólo se laminan en el diámetro de 6 mm; en las barras con resaltes, es normal laminar hasta el diámetro de 36 mm.

5. Requisitos

5.1 Propiedades mecánicas

5.1.1 Ensayo de Tracción.

5.1.1.1 Los resultados de los ensayos de tracción realizados según NCh200 deben cumplir con los valores indicados en la Tabla 2.

Tabla 2
Propiedades en el ensayo de tracción
Valores mínimos (1)

Características	Grados del Acero (2)	
	A44-28H	A63-42H
Resistencia a la tracción, R_m (MPa)	440	630 (3)
Fluencia, R_e (MPa)		
Máximo	-	580
Mínimo	280	420
Alargamiento de ruptura (%) en probeta de $L_0 = 200$ mm	16	$\frac{7000}{R_m} - K$

- (1) Para el grado A63-42H se indica también el valor máximo admisible para la fluencia.
(2) En esta tabla, no se consideran los grados A37-24H y A56-35H por estar en la práctica, en desuso.
(3) $(R_m / R_e) \geq 1,33$

En que:

L_0 = longitud inicial entre marcas de la probeta (mm).

R_m = resistencia a la tracción efectiva registrada (MPa).

K = coeficiente que depende del diámetro nominal y cuyo valor se indica en la Tabla 3 para los distintos diámetros nominales normales.

Para los efectos prácticos de la determinación de las propiedades mecánicas, se considerará la relación aproximada $1 \text{ MPa} = 0,10 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$. En casos de conflictos se aplicará la relación exacta: $1 \text{ MPa} = 0,101972 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$.

Tabla 3: Coeficiente K para ensayo de alargamiento (1)

Diámetro nominales normales (mm)	Coeficiente K
8	2,0
10	1,0
12	0
14	0
16	0
18	0
20	0,5
22	1,0
25	2,0
28	3,0
32	4,0
36	5,0

(1) Esta tabla considera tabulados los diámetros comprendidos entre 8 a 36 mm, correspondientes a los diámetros incluidos en la Tabla 1 del grado A63-42H.

5.1.1.2 El alargamiento porcentual de ruptura para probeta de 200 mm entre marcas no debe ser menor a 8% para los aceros del grado A63-42H.

5.1.1.3 Se entiende como límite de fluencia el valor de la carga unitaria en el límite aparente de elasticidad. Cuando éste no se manifiesta claramente se determina la carga unitaria en el límite convencional de fluencia para el 0,2% de alargamiento permanente.

5.1.2 Ensayo de doblado

5.1.2.1 Las barras deben resistir un ensayo de doblado sin que a simple vista se observen grietas en la zona sometida o esfuerzos de tracción.

5.1.2.2 El ensayo de doblado se debe realizar de acuerdo con la norma NCh201 con los diámetros de mandril y ángulos de doblado indicados en Tablas 4 y 5.

Tabla 4
Características del ensayo de doblado
de barras redondas lisas.

Diámetro nominal, e (mm)	Grado del Acero
	A44-28H
$5 \leq e < 20$	$\alpha = 180^\circ$ $d = 2 e (1)$
$20 \leq e \leq 50$	— —

1) Válido sólo para $5 \leq e \leq 16$ mm.

En que:

α = ángulo de doblado;

d = diámetro del cilindro o mandril de doblado;

e = diámetro nominal de la barra.

Tabla 5
Características del ensayo de doblado
de barras con resaltes.

Diámetro nominal, e (mm)	Grados del Acero	
	A44-28H	A63-42H
$8 \leq e \leq 18$	$\alpha = 90^\circ$ $d = 3 e$	$\alpha = 90^\circ$ $d = 4 e$
$20 \leq e \leq 25$	$\alpha = 90^\circ$ $d = 4 e$	$\alpha = 90^\circ$ $d = 5 e$
$25 \leq e \leq 40 (2)$	$\alpha = 90^\circ$ $d = 5 e$	$\alpha = 90^\circ$ $d = 6 e$

2) El grado A63-42H se lamina sólo hasta $e = 36$ mm. Las letras tienen el mismo significado indicado en la Tabla 4:

α = ángulo de doblado.

d = diámetro del cilindro o mandril de doblado.

e = diámetro nominal de la barra.

5.1.2.3 En las barras con resaltes con nervios longitudinales, el doblado se debe efectuar de modo que los nervios queden en la parte exterior o interior de la probeta.

5.1.3 Requisitos de forma, dimensiones y masa.

5.1.3.1 Los diámetros normales y sus correspondientes secciones, perímetro y masa nominales se indican en la Tabla 6.

Tabla 6
Diámetros nominales, secciones, perímetros y masas nominales de barras lisas y con resaltes (3)

Diámetro Nominal, e (mm)		Sección nominal (1) S_n , (cm ²)	Perímetro nominal (1) P_n , (cm)	Masa nominal (2) M_n , (kg/m)
Lisas	con resaltes			
5	-	0,196	1,57	0,154
6	-	0,283	1,89	0,222
8	8	0,503	2,51	0,395
10	10	0,785	3,14	0,617
12	12	1,13	3,77	0,888
14	14	1,54	4,40	1,21
16	16	2,01	5,03	1,58
-	18	2,54	5,65	2,00
-	20	3,14	6,28	2,47
-	22	3,80	6,91	2,98
-	25	4,91	7,85	3,85
-	28	6,16	8,80	4,83
-	32	8,04	10,05	6,31
-	36	10,2	11,31	7,99

1) S_n [cm²] = $\frac{0,7854}{100} e^2$ (d en mm): P_n [cm] = $\frac{3,1416}{10} e$ (d en mm)

2) M_n [kg/m] = 0,785 x S_n (S_n en cm²)

3) Valores redondeados.

5.1.4 Requisitos de los resaltes

- 5.1.4.1 Los resaltes de ambos lados de la barra deben ser similares en tamaño y forma, no siendo necesario que coincidan en su ubicación a lo largo del eje de la barra.
- 5.1.4.2 Los resalten deben estar colocados de modo que formen con eje de la barra un ángulo igual o mayor de 45° . Si este ángulo estuviera comprendido entre 45° y 70° inclusive, los resaltes deben tener inclinación contraria en los dos lados de la barra.
- 5.1.4.3 El espaciamiento de los resaltes debe ser uniforme a lo largo de la barra y su valor medio debe ser menor o igual a 0,7 veces el diámetro nominal (Tabla 7).
- 5.1.4.4 El espaciamiento medio de los resaltes se determina dividiendo la distancia entre un punto de un resalte y el punto correspondiente de otro resalte del mismo lado de la barra, por el número de los resaltes completos comprendidos en esa distancia más uno.
- 5.1.4.5 El largo de los resaltes medido en su proyección sobre un plano perpendicular al eje longitudinal de la barra será tal que la longitud de la zona sin resalte que queda entre los extremos de los resaltes ubicados a cada lado de la barra no exceda 0,125 veces el perímetro nominal.
- 5.1.4.6 La zona sin resaltes indicada en 5.1.4.5 puede ser parcial o totalmente ocupada por nervios longitudinales.
- 5.1.4.7 La altura media de los resaltes debe ser mayor o igual a 0,04 veces el diámetro nominal para barras de diámetro menor o igual a 18 mm, y mayor o igual a 0,05 veces al diámetro nominal para barras de diámetro mayor a 18 mm (Tabla 7).
- 5.1.4.8 La altura media de los resaltes se determina midiendo un número de resaltes igual o mayor a dos. Las mediciones se deben hacer en 3 puntos de cada resalte; en el medio y en los puntos cuartos de su desarrollo.
- 5.1.4.9 El ancho de la base en el punto medio de un resalte debe ser menor o igual a 0,25 veces el diámetro nominal de la barra (Tabla).

Tabla 7
Característica de los resaltes.

Diámetro nominal, e (mm)	Espaciamiento medio máximo (mm)	Altura media mínima (mm)	Ancho de la base máximo (mm)
8	5,6	0,32	2,0
10	7,0	0,40	2,5
12	8,4	0,48	3,0
14	9,8	0,56	3,5
16	11,2	0,64	4,0
18	12,6	0,72	4,0
20	14,0	1,00	5,0
22	15,4	1,10	5,5
25	17,5	1,25	6,2
28	19,6	1,40	7,0
32	22,4	1,60	8,0
36	25,2	1,80	9,0

5.1.5 Longitudes normales

- 5.1.5.1 Las longitudes normales de las barras son las siguientes
6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 y 12 m.

5.1.6 Tolerancias

- 5.1.6.1 Las tolerancias de diámetro de las barras lisas se indican en la Tabla 8.

Tabla 8
Tolerancia en diámetro de la barra lisa.

Diámetro Nominal, e (mm)	Tolerancia (mm)
$5 \leq e \leq 20$	$\pm 0,50$
$20 < e \leq 32$	$\pm 1,00$
$32 < e \leq 50$	$\pm 1,50$

El área de cualquier sección transversal de la barra debe ser mayor o igual al 90% de la sección.

5.1.6.2 La tolerancia de masa de las barras lisas y con resaltes (rectas) se indican en la Tabla 9.

Tabla 9
Tolerancia de masa de barras lisas y con resaltes (rectas)

Diámetro nominal, e (mm)	Lote	Barra individual
Barras lisas: 5 < e < 10 10 < e < 50	± 5,0% ± 3,5%	- -
Barras con resaltes: 8 < e < 40	± 3,5%	± 6%

5.1.6.3 En las barras con resaltes entregadas en rollos, la tolerancia de masa se debe aplicar cuando sean cortados en barras rectas. El lote debe contener todas las barras provenientes del corte de los rollos y no debe ser menor a 5 t. Cualquier barra del lote deberá cumplir con la tolerancia para barra individual.

5.1.6.4 En caso de los lotes de masa menor a 5 t, las tolerancias se deberían aumentar en un tercio.

5.1.6.5 Para determinar la masa de una barra individual, se debe pesar un trozo de longitud igual o mayor a 0,50 m en una balanza con una sensibilidad de 1 g.

5.1.6.6 La tolerancia de las longitudes normales debe ser de +50 mm y -0 mm.

6. Muestreo

- 6.1 Para los efectos de la recepción, cada partida de barras se divide en lotes cuyo tamaño se indica en la Tabla 10.

Tabla 10
Tamaño de lote para recepción
y número de muestras para ensayos.

Diámetro nominal, e (mm)	Tamaño máximo del lote (t)	Número de muestras por lote
$5 \leq e < 16$	20	3
$16 \leq e \leq 50$	25	2

- 6.2 De cada lote se debe extraer al azar, muestras de 1 m de longitud de acuerdo con lo indicado en Tabla 10.
- 6.3 Cuando no se conozca el origen de una partida de barras o cuando éstas provengan de producciones no controladas en fábrica de acuerdo con esta norma, el número de muestras debe ser igual al doble de lo indicado en Tabla 10.

7. Control dimensional y ensayos

- 7.1 En las muestras seleccionadas según 6.1 se verifican las dimensiones y masas de acuerdo con los puntos 5.1.3, 5.1.4, 5.1.5 y 5.1.6.
- 7.2 Posteriormente cada muestra se divide en 2 partes iguales, que deben servir de probetas para los ensayos de tracción y doblado de acuerdo con los puntos 5.1.1 y 5.1.2.
- 7.3 Las probetas deben ser de sección completa, tal como resulta de la laminación. Sin embargo, por necesidades de ensayo podrán emplearse probetas rebajadas de diámetro por torneado.

8. Aceptación y rechazo

- 8.1 Si una o más probetas no cumplen con las prescripciones de la norma, se debe tomar un número de muestras igual al doble de las del muestreo original y se hacen los ensayos correspondientes. Todas las probetas de este remuestreo deben cumplir con las prescripciones de la norma, para que el o los lotes sean aceptados. En caso contrario deben ser rechazados no pudiendo emplearse estas barras en hormigón armado, y no podrán salir de la fábrica a menos que se corten en trozos de 3 m de largo o menos.
- 8.2 Si una probeta muestra fallas en la sección de la fractura o si ésta queda fuera del tercio medio de la distancia entre marcas, se permite un nuevo ensayo con una nueva probeta.
- 8.3 Los pequeños defectos superficiales que no perjudiquen la utilización de las barras no deben ser causal de rechazo.

9. Marcas

- 9.1 Las barras deben llevar marcas en sobre relieve que identifiquen al fabricante y el grado de acero respectivo. Las marcas señaladas se deben repartir a lo largo de la barra a distancias no mayores de 2 mm.

Tal marcación no es exigible para las barras de 5 y 6 mm de diámetro entregados en rollos

- 9.2 Para los efectos de la marcación podrán suprimirse resaltes. Las zonas de marca no se deben emplear para verificar el espaciamiento, altura media y ancho de los resaltes.

10. Inspección

- 10.1 El control necesario para la recepción de las barras, se debe efectuar en el lugar de su fabricación. En el caso contemplado en el punto 6.3 este control se debe efectuar en el lugar en que se encuentra el material.

Anexo

Para los efectos de comparar los alargamientos resultantes de ensayos realizados con probetas de diferentes longitudes iniciales entre marcas puede consultarse la Norma ISO 2566/1 – 1973.

Acero – Barras y perfiles livianos – Clasificación y tolerancias.

Nota:

La información de este compendio fue extraída y resumida del documento oficial del I.N.N. El documento oficial fue aprobado por el H. Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión de fecha 31 de Enero de 1974, el que fue declarado Norma Chilena Oficial de la República de Chile, por Decreto N° 918 del Ministerio de Obras Públicas de fecha 26 de Agosto de 1974. Para una consulta de la norma oficial, recomendamos al usuario hacerlo directamente al I.N.N., o al sitio www.inn.cl.

1. Alcance

- 1.1 La Norma NCh 697.Of74 establece una clasificación para las barras y perfiles livianos de acero al carbono laminadas en calientes y para barras de acero al carbono acabadas en frío y fija las tolerancias que deben cumplir en sus dimensiones. Este documento contiene un extracto de los principales alcances de la norma oficial referidos a los perfiles laminados en caliente; los productos acabados en frío deben ser consultados a la norma original.
- 1.2 La Norma se aplicará a las barras de acero de secciones: circular, cuadrada, rectangular, hexagonal y octagonal y a los perfiles livianos que se especifican en el punto 4 Clasificación de esta Norma.

2. Referencias

NCh21 Física – Espacio y tiempo – Magnitudes y unidades.

3. Terminología

Los términos siguientes empleados en esta Norma tienen el significado que se expresa:

- 3.1 **Barra y perfil liviano laminado en caliente:** producto de acero suministrado en tramos rectos o en rollos, obtenidos por laminación en caliente de lingotes, tochos, palanquillas u otro producto semiterminado.
- 3.2 **Barra acabada en frío:** producto de acero suministrado en tramos rectos o en rollos, obtenido por laminación en caliente y uno o más procesos adicionales de acabado en frío, como trefilado, laminado, torneado, (pelado), rectificado o pulido.
- 3.3 **Barra hueca:** producto de acero obtenido por laminación en caliente de palanquilla perforada, de sección circular, hexagonal, octogonal o cuadrada de aristas vivas y cuya mayor dimensión exterior de la sección transversal, comprendida entre 15 y 50 mm, es por lo menos el triple de la mayor dimensión del hueco.
- 3.4 **Ovalización:** diferencia entre los diámetros máximos y mínimos de la barra de sección circular, medido en la misma sección transversal.
- 3.5 **Fuera de:** cuadrado, hexágono u octógono: diferencia máxima entre las dimensiones entre caras opuestas, medidas en una misma sección transversal de una barra.

4. Clasificación:

4.1 Barras y perfiles livianos, laminados en caliente.

De acuerdo con la forma de su sección y de sus dimensiones se clasifican en los tipos siguientes:

- 4.1.1 Barra de sección circular, cuadrada de aristas vivas y cuadrada de aristas redondas. (Véase Fig. 4.1.1).
De diámetro circular, cuadrada de aristas paralelas igual o superior a 5,0 mm.
- 4.1.2 Barra de sección rectangular. (véase Fig. 4.1.2)
De espesor igual o superior a 5,0 mm e inferior o igual a 112,0 mm y de ancho igual o superior a 6,0 mm e inferior o igual a 224,0 mm.
- 4.1.3 Barra hexagonal y octogonal. (Véase Fig. 4.1.3)
De distancia entre caras planas paralelas igual o superior a 6,0 mm.
- 4.1.4 Barras de sección especial. (Véase Fig. 4.1.4)
Semicircular, ovalada, semiovalada o de otra sección no definida anteriormente.
- 4.1.5 Perfil Liviano. (Véase Fig. 4.1.5)
Angulo de alas iguales (I), canal(U), te (T), doble te(), Zeta(Z), cuando su mayor dimensión transversal nominal es inferior o igual a 100 mm.

4.2 Barras acabadas en frío.

De acuerdo con la forma de su sección transversal y sus dimensiones, estas barras se clasifican en los tipos siguientes:

- 4.2.1 Barra circular.
De diámetro inferior o igual a 250,0 mm.
- 4.2.2 Barra cuadrada.
De distancia entre caras paralelas inferior o igual a 112,0 mm.
- 4.2.3 Barra hexagonal y octogonal.
De distancia entre caras paralelas inferior o igual a 80,0 mm.
- 4.2.4 Barra de sección rectangular.
De espesor igual o superior a 6,0 mm e inferior o igual a 112,0 mm y de ancho inferior o igual a 224,0 mm.
- 4.2.5 Barra semicircular, ovalada, semiovalada o de otra sección no definida anteriormente.

Figura 4.1.1
Barra de sección circular, cuadrada de aristas vivas y cuadrada de aristas redondeadas

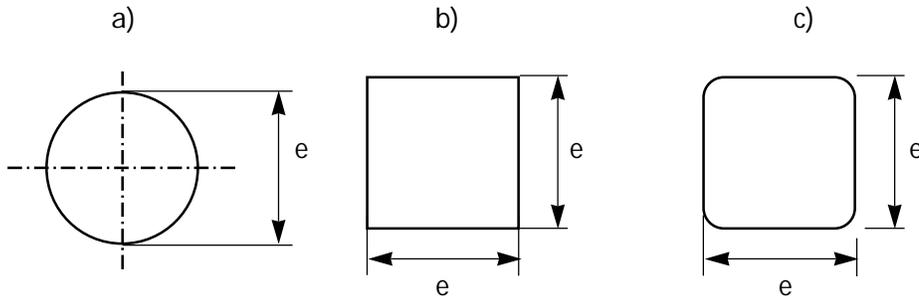


Figura 4.1.2
Barra de sección rectangular



Figura 4.1.3
Barras hexagonal y octogonal

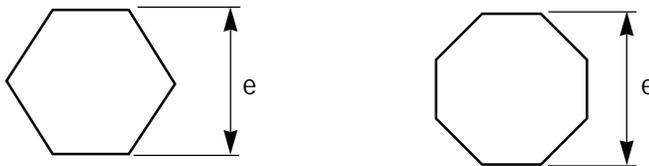


Figura 4.1.4
Barras de secciones especiales

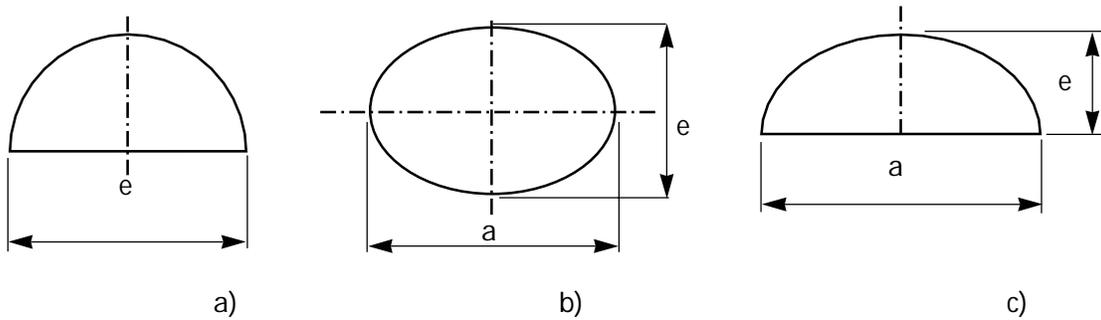
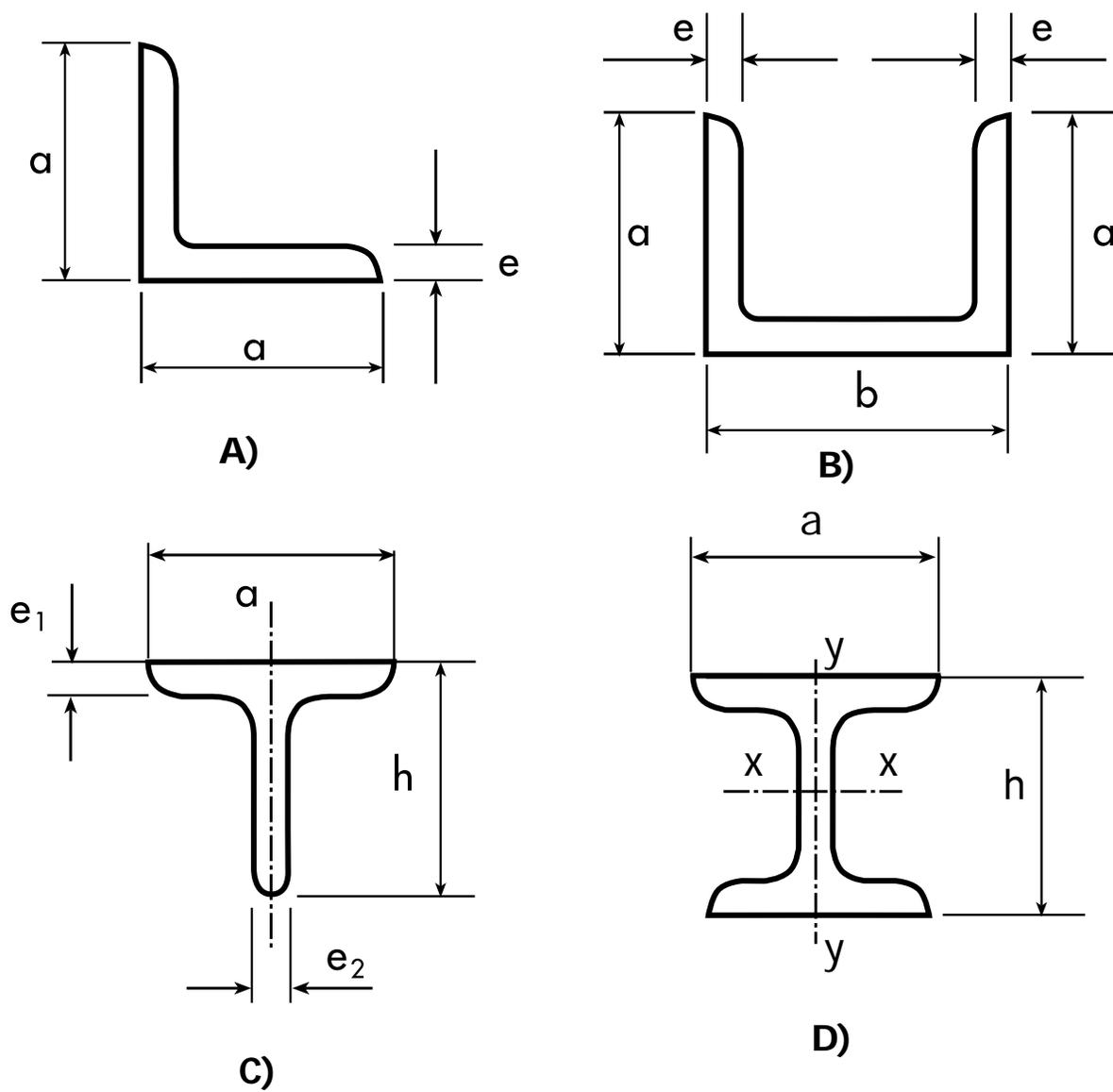


Figura 4.1.5
Perfiles livianos



5. Tolerancias de barras y perfiles livianos de acero al carbono laminados en caliente

5.1 Barras de secciones circular, cuadrada, hexagonal y octogonal.

5.1.1 Las tolerancias en las dimensiones de la sección transversal de las barras laminadas en caliente de sección circular, cuadrada, hexagonal y octogonal serán las que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1:
Tolerancias normales en las dimensiones nominales de la sección transversal de barras laminadas en caliente de sección circular, cuadrada, hexagonal u octogonal. (Ver párrafo 5.7)

Dimensión nominal e, mm (Ver subpárrafo 4.1.1 y 4.1.3)	Tolerancia en la dimensión nominal e, (t)mm (Ver subpárrafos 5.1.2)	Ovalización mm (Ver párrafo 3.4)	Fuera de: cuadrado, hexágono y octógono (Ver párrafo 3.5) mm
5 < e ≤ 10	0,50	0,80	0,90
10 < e ≤ 18	0,60	0,95	1,10
18 < e ≤ 30	0,70	1,15	1,25
30 < e ≤ 50	0,80	1,30	1,45
50 < e ≤ 80	1,00	1,60	1,80
80 < e ≤ 100	1,30	2,10	2,35

5.1.2 Se podrá especificar 1/4 del valor total de la tolerancia en una desviación por defecto (-) y 3/4 de ese valor en una desviación por exceso (+).

5.2 Barras de sección rectangular

5.2.1 Las tolerancias en el espesor y en el ancho de las barras de sección rectangular serán las que se indican en:

- a) Tabla 2: Tolerancias normales para barras laminadas en caliente; y
- b) Tabla 3: Tolerancias especiales para barras laminadas en caliente para usos específicos.

Tabla 2:
Tolerancias normales de ancho y espesor para barras laminadas
en caliente, de sección rectangular (Ver párrafo 5.7)

Ancho nominal, a, mm	Tolerancia, (+) mm				
	En el espesor, e, mm				En el ancho, a, mm
	e < 5	5 ≤ e < 10	10 ≤ e < 18	18 ≤ e < 30	
a ≤ 30 30 < a ≤ 50	0,40	0,50	0,70	0,90	0,70 1,30
50 < a ≤ 80 80 < a ≤ 120 120 < a ≤ 180 180 < a ≤ 250	0,50	0,80	0,90	1,10	1,50 2,70 3,15 3,60

Tabla 3:
Tolerancias especiales de ancho y espesor para barras laminadas
en caliente de sección rectangular. (Ver párrafo 5.7)

Ancho nominal, a, mm	Tolerancia, (±) mm				
	En el espesor, e, mm				En el ancho, a, mm
	e < 5	5 ≤ e < 10	10 ≤ e < 18	18 ≤ e < 30	
a ≤ 30	0,18	0,20	0,26	0,26	0,45
30 < a ≤ 50	0,18	0,30	0,35	0,35	0,75
50 < a ≤ 80	0,20	0,38	0,50	0,50	1,10
80 < a ≤ 120	0,23	0,38	0,50	0,50	1,50
120 < a ≤ 180	0,23	0,38	0,50	0,50	2,20

5.3 Tolerancia de longitud.

Para barras de sección circular, cuadradas y rectangulares la tolerancia normal de longitud será + 100 mm por exceso; no habrá desviación admisible por defecto. (Ver párrafo 5.7).

5.3.1 Tolerancia de rectitud.

Las barras no enderezadas en frío, tendrán una tolerancia normal de rectitud de 6,5 mm por cada 1.500 mm de largo. (Ver párrafo 5.79. Esta tolerancia cumplirá la condición dada por la fórmula siguiente:

$$F = \frac{6,5 \cdot L}{1500}$$

en que:

f = flecha en mm, y

L = longitud en mm.

5.4 Perfil ángulo de alas iguales (L).

5.4.1 Las tolerancias en el espesor y en la ala de los perfiles ángulo de alas iguales serán las que se indican en la Tabla 4.

Tabla 4:

Tolerancias normales en el espesor, en el ancho del ala y diferencia entre los aceros de los aceros de las alas en perfiles ángulo (L) de alas iguales.
(Ver párrafo 5.7)

Longitud nominal del ala a, mm	Tolerancias, mm				
	En el espesor, e (±)mm			En el ancho del ala (±)mm	Diferencia entre los anchos de las alas, mm
	e ≤ 5	5 < e ≤ 10	10 < e ≤ 18		
a ≤ 24	0,50	-	-	1,20	2,40
24 < a ≤ 30	0,50	0,75	-	1,80	3,60
30 < a ≤ 50	0,60	0,75	0,90	1,80	3,60
50 < a ≤ 80	0,80	1,10	1,40	2,30	4,60
80 < a ≤ 120	-	1,30	1,60	2,80	5,60

5.4.2 La variación admisible de descuadrado en cada dirección es de 0,0262 rad (1° 30") (1)

5.5 Perfil canal (U)

5.5.1 Las tolerancias en las dimensiones de la sección transversal del perfil canal serán las que se indican en la Tabla 5.

Tabla 5:
Tolerancias normales en las dimensiones nominales de la sección transversal del perfil canal (U). (Ver párrafo 5.7)

Dimensión nominal del canal b, mm	Tolerancia, (±) mm				Descuadrado de cada ala, mm x mm de ancho de ala (Ver subpárrafo 5.5.3)
	Altura del perfil b	Ancho de ala a	Espesor del ala, para espesores e, dados en mm		
			e < 6	6 ≤ e	
b ≤ 30	1,10	1,10	0,40	0,70	0,04
30 < b ≤ 50	1,30	1,30	0,50	0,80	0,04
50 < b ≤ 100	2,30	2,30	0,60	1,00	0,04

5.5.2 La dimensión nominal para la altura y el ancho de las alas, serán medidas exteriores.

5.5.3 Para perfil canal de altura inferior a 16 mm la variación admisible de descuadrado será de 0,06 mm por mm de altura.

(1) De acuerdo con Nch21, la unidad del ángulo plano es el radián (rad).

5.6 Perfil T

- 5.6.1 Las tolerancias en las dimensiones de la sección transversal del perfil T serán las que se indican en la Tabla 6.

Tabla 6:
Tolerancias normales en las dimensiones nominales de la sección transversal del perfil T. (Ver párrafo 5.7)

Dimensión nominal del perfil T, h, mm	Tolerancias, mm					
	Ancho o altura(±) (ver subpárrafo 5.6.3)	Espesor del			Descuadrado del alma, mm (Ver subpárrafo 5.6.4)	
		Ala, e ₁	Alma, e ₂			
	(±)	(+)	(-)			
h ≤ 30	1,65	0,45	0,45	0,90		1,10
30 < h ≤ 50	3,10	0,50	0,45	0,90		2,40
50 < h ≤ 80	3,70	0,60	0,45	0,90		3,60

- 5.6.2 El alma de un perfil liviano T, determina la dimensión nominal del perfil.
- 5.6.3 Las dimensiones del ala y la altura del perfil liviano T, son las exteriores.
- 5.6.4 El descuadrado del alma es la variación de su posición verdadera con respecto al eje de simetría del perfil, medida en la punta.

5.7 Tolerancias estrictas o restringidas en barras y perfiles livianos.

Por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedor podrán especificarse tolerancias más estrictas o restringidas que las indicadas en este documento para las barras y perfiles de acero al carbono, laminados en caliente.

5.8 Barras de secciones especiales: semicircular, ovalada, semiovalada y otras.

Las tolerancias para estas barras se fijarán por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedor.

Anexos

- Tabla de conversión de unidades
- Tabla comparativa de dureza

Anexo

Tablas de conversión de unidades

Para convertir desde	a	multiplicar por
Angulo Grados	rad (radianes)	1,745.329 E - 02
Area in ² in ² in ² ft ²	mm ² cm ² m ² m ²	6,451.600 E + 02 6,451.600 E + 00 6,451.600 E - 04 9,290.304 E - 02
Torque lbf in lbf ft Kgf m Ozf in	N m Nm Nm N m	1,129.848 E - 01 1,355.818 E + 00 9,806.650 E + 00 7,061.552 E - 03
Torque por unidad de largo lbf in/in lbf ft/in	N m/m N m/m	4,448.22 E + 00 5,337.866 E + 01
Densidad de corriente A/in ² A/in ² A/ft ²	A/cm ² A/mm ² A/mt ²	1,550.003 E - 01 1,550.003 E - 03 1,076.400 E + 01
Electricidad y magnetismo gauss maxwell mho Oersted $\Omega \cdot \text{cm}$ Ω circular - mill/ft	T μWb S A/m $\Omega \cdot \text{m}$ $\mu\Omega \cdot \text{m}$	1,000.000 E - 04 1,000.000 E - 02 1,000.000 E + 00 7,957.700 E + 01 1,000.000 E - 02 1,662.426 E - 03
Energía (impacto, otras) ft • lbf Btu (termoquímica) cal (termoquímica) kW • h W • h	J J J J J	1,355.818 E + 00 1,054.350 E + 03 4,184.000 E + 00 3,600.000 E + 06 3,600.000 E + 03

Velocidad de flujo		
ft ³ /h	L/min	4,719.475 E - 01
ft ³ /min	L/min	2,831.000 E + 01
gal/h	L/min	6,309.020 E - 02
gal/min	L/min	3,785.412 E + 00
Fuerza		
lbf	N	4,448.222 E + 00
kip (1000 lbf)	N	4,448.222 E + 03
tonf	kN	8,896.443 E + 00
kgf	N	9,806.650 E + 00
Fuerza por unidad de largo		
lbf/ft	N/m	1,459.390 E + 01
lbf/in	N/m	1,751.268 E + 02
Resistencia a la fractura		
ksi √ in	Mpa √ m	1,098.800 E + 00
Capacidad de calor		
Btu • lb	kJ • kg	2,326.000 E + 00
cal • g	kJ • kg	4,186.800 E + 00
Calor por unidad de largo		
J / in	J/m	3,937.008 E + 01
KJ / in	KJ/m	3,937.008 E + 01
Longitud		
A	mm	1,000.000 E - 01
μ in	μm	2,540.000 E - 02
mil	μm	2,540.000 E + 01
in	mm	2,540.000 E + 01
in	cm	2,540.000 E + 00
ft	m	3,048.000 E - 01
yd	m	9,144.000 E - 01
mile	Km	1,609.300 E + 00

Para convertir desde	a	multiplicar por
Masa		
oz	Kg	2,834.952 E - 02
lb	Kg	4,535.924 E - 01
ton (corto 2000 lb)	Kg	9,071.847 E + 02
ton (corto 2000 lb)	Kg x 10 ² (a)	9,071.847 E - 01
ton (corto 2240 lb)	Kg	1,016.047 E + 03
Masa por unidad de área		
oz/in ²	kg/m ²	4,395.000 E + 01
oz/ft ²	kg/m ²	3,051.517 E - 01
oz/yd ²	kg/m ²	3,390.575 E - 02
lb/ft ²	kg/m ²	4,882.428 E + 00
Masa por unidad de largo		
lb/ft	kg/m	1,488.164 E + 00
lb/in	kg/m	1,785.797 E + 01
Masa por unidad de tiempo		
lb/h	kg/s	1,259.979 E - 04
lb/min	kg/s	7,559.873 E - 03
lb/s	kg/s	4,535.924 E - 01
Masa por unidad de volumen (incluye densidad)		
g/cm ³	kg/m ³	1,000.000 E + 03
lb/ft ³	g/cm ³	1,601.846 E - 02
lb/ft ³	kg/m ³	1,601.846 E + 01
lb/in ³	g/cm ³	2,767.990 E + 01
lb/in ³	kg/m ³	2,767.990 E + 04
Potencia		
Btu/s	kW	1,055.056 E + 00
Btu/min	kW	1,758.426 E - 02
Btu/s	W	2,928.751 E - 01
erg/s	W	1,000.000 E - 07
ft • lbf/s	W	1,355.818 E + 00
ft • lbf/min	W	2,259.697 E - 02
ft • lbf/h	W	3,766.161 E - 04
hp(550 ft...lbf/s)	kW	7,456.999 E - 01
hp (electric)	kW	7,460.000E - 01

(a) Kg x 10³ = 1 tonelada métrica ó 1 megagramo (Mg)

Densidad de potencia W/in ²	W/m ²	1,550.003 E+03
Presión (fluidos) atm (standard) bar in Hg (32°F) in Hg (60°F) Lb/in ² torr (mm Hg. 0°C)	Pa Pa Pa Pa Pa Pa	1,013.250 E+05 1,000.000 E+05 3,386.380 E+03 3,376.850 E+03 6,894.757 E+03 1,333.220 E-02
Calor específico Btu/lb cal/g °C	J/Kg K J/Kg K	4,186.800 E+03 4,186.800 E+03
Resistencia(fuerza por unidad de área) tonf/in ² (tsi) Kgf/mm ² ksi lb/in ² MN/cm ²	MPa MPa MPa MPa MPa	1,378.951 E+01 9,806.650 E+00 6,894.757 E+00 6,894.757 E-03 1,000.000 E+00
Temperatura °F °R	°C °K	5/9 • (°F – 32) 5/9
Intervalo de temperatura °F	°C	5/9
Conductividad térmica Btu • in/s • ft ² • °F Btu/ft • h • °F Btu • in/h • ft ² • °F cal/cm • s • °C	W/m • K w/M • k W/m • K W/m • K	5,192.204 E+02 1,730.735 E+00 1,442.279 E+01 4,184.000 E+02
Expansión térmica in/in • °C in/in • °F	m/m • °K M/M • °K	1,000.000 E+00 1,800.000 E+00

Para convertir desde	a	multiplicar por
Velocidad		
ft/h	m/s	8,466.667 E-05
ft/min	m/s	5,080.000 E-03
ft/s	m/s	3,048.000 E-01
in/s	m/s	2,540.000 E-02
km/h	m/s	2,777.778 E-02
mph	km/h	1,609.344 E+00
Velocidad de rotación		
rev/min (rpm)	rad/s	1,047.164 E-01
rev/s	rad/s	6,283.185 E+00
Viscosidad		
poise	Pa • s	1,000.000 E+01
stokes	m ² /s	1,000.000 E-04
ft ² /s	m ² /s	9,290.304 E-02
in ² /s	mm ² /s	6,451.600 E+03
Volumen		
in ³	m ³	1,638.706 E-05
ft ³	m ³	2,831.685 E-02
fluid oz	m ³	2,957.353 E-05
gal. (U.S. liquid)	m ³	3,785.412 E-03
Volumen por unidad de tiempo		
ft ³ /min	m ³ /s	4,719,474 E-04
ft ³ /s	m ³ /s	2,831.685 E-02
in ³ /min	m ³ /s	2,731.177 E-07
Longitud de ondas		
A	nm	1,000.000 E-01

Anexo

- Tabla comparativa de durezas

Tabla comparativa de durezas

Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción X 1000 psi	Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi
		C	B				C	B	
898				440	223	223	20	97	110
857				420	217	217	18	96	107
817				401	212	212	17	96	104
780	1150	70		384	207	207	16	95	101
745	1050	68		368	202	202	15	94	99
712	960	66		352	197	197	13	93	97
682	885	64		337	192	192	12	92	95
653	820	62		324	187	187	10	91	93
627	765	60		311	183	183	9	90	91
601	717	58		298	179	179	8	89	89
578	675	57		287	174	174	7	88	87
555	633	55	120	276	170	170	6	87	85
534	598	53	119	266	166	166	4	86	83
514	567	52	119	256	163	163	3	85	82
495	540	50	117	247	159	159	2	84	80
477	515	49	117	238	156	156	1	83	78
461	494	47	116	229	153	153		82	76
444	472	46	115	220	149	149		81	75
429	454	45	115	212	146	146		80	74
415	437	44	114	204	143	143		79	72
401	420	42	113	196	140	140		78	71
388	404	41	112	189	137	137		77	70
375	389	40	112	182	134	134		76	68
363	375	38	110	176	131	131		74	66
352	363	37	110	170	128	128		73	65
341	350	36	109	165	126	126		72	64
331	339	35	109	160	124	124		71	63
321	327	34	108	155	121	121		70	62
311	316	33	108	150	118	118		69	61
302	305	32	107	146	116	116		68	60
293	296	31	106	142	114	114		67	59
285	287	30	105	138	112	112		66	58
277	279	29	104	134	109	109		65	56
269	270	28	104	131	107	107		64	56
262	263	26	103	128	105	105		62	54
255	256	25	102	125	103	103		61	53
248	248	24	1025	122	101	101		60	52
241	241	23	100	119	99	99		59	51
235	235	22	99	116	97	97		57	50
229	229	21	98	113	95	95		56	49



GERDAU AZA S.A.
La Unión 3070, Renca, Santiago - Chile
Código Postal 7464522
Fonos: (2) 641 9185 - 641 8683
Fax: (2) 641 8350
Fax Ventas: (2) 646 5215
Faxmail: aza@chilnet.cl
www.aza.cl