

# I

## Normas y características a las que se sujetan los aceros fabricados por Altos Hornos de México

- **I.1 SOCIEDAD AMERICANA DE ENSAYES Y MATERIALES** **ASTM**
- **I.2 COMITÉ DE REGISTRO NAVAL LLOYD** **LLOYD**
- **I.3 BUFETE NAVAL AMERICANO** **ABS**
- **I.4 INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO** **API**
- **I.5 SOCIEDAD DE INGENIEROS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ** **SAE**  
**INSTITUTO AMERICANO DEL HIERRO Y EL ACERO** **AISI**
- **I.6 ESTANDARD BRITÁNICO** **BS**
- **I.7 DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS (NORMAS OFICIALES MEXICANAS)** **DGN-NMX**
- **I.8 ASPECTOS GENERALES DEL ACERO ESTRUCTURAL**

**NORMAS Y CARACTERÍSTICAS A LAS QUE SE SUJETAN  
LOS ACEROS FABRICADOS POR ALTOS HORNOS DE MÉXICO**

1.1	SOCIEDAD AMERICANA DE ENSAYES Y MATERIALES <i>AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS</i>	ASTM
1.2	COMITÉ DE REGISTRO NAVAL LLOYD	LLOYD
1.3	BUFETE NAVAL AMERICANO <i>AMERICAN BUFFET STANDAR</i>	ABS
1.4	INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO <i>AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE</i>	API
1.5	SOCIEDAD DE INGENIEROS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ <i>SOCIETY AUTOMOTIVE ENGINEERING</i> INSTITUTO AMERICANO DEL HIERRO Y EL ACERO <i>AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE</i>	SAE AISI
1.6	ESTANDARD BRITÁNICO <i>BRITHIS STANDARD</i>	BS
1.7	DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS	DGN-NMX
1.8	ASPECTOS GENERALES DEL ACERO ESTRUCTURAL	

### **I.1 NORMAS ASTM**

En los últimos años, la producción del acero a nivel mundial ha tenido cambios significativos. Actualmente existen en el mercado nacional e internacional una gran variedad de tipos de acero que se usan profusamente en la industria de la construcción, naval, mecánica, petrolera y en diversas estructuras especiales, y que evolucionaron debido a las necesidades derivadas de los avances tecnológicos acelerados en los diversos campos de la ingeniería.

En este capítulo se indican los tipos de acero que pueden utilizarse en estructuras diseñadas de acuerdo con las *Especificaciones del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (Especificaciones IMCA-2003)*, *Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (NTC-RDF-2004)* y las *Specification for Structural Steel Buildings del American Institute of Steel Construction (Especificaciones AISC 2005)*, así como los remaches, tornillos de alta resistencia, conectores de cortante para sistemas de piso compuestos acero-concreto, metales de aportación y fundentes para soldadura.

Para los efectos de este manual, el término “acero estructural” se refiere a los elementos de acero que componen la estructura, indispensable para soportar las cargas de diseño. El acero estructural consiste de los siguientes elementos: anclas, contraventeos y puntales, armaduras, bases, columnas, conectores de cortante, estructuras de soporte de tuberías, transportadores, largueros y polines, marquesinas, monorrieles, piezas de apoyo, tirantes, péndolas y colgantes, tornillos de alta resistencia de taller y de campo, vigas y traveses.

Los aceros estructurales laminados en caliente, se producen en forma de placas, barras y perfiles de diversas formas.

Las normas aprobadas por la ASTM para placas y perfiles laminados en caliente son A36, A529, A572, A242, A588, A709, A514, A852, A913 y A992. La norma A709 es especial, en ella se definen aceros convenientes para la construcción de puentes.

**ASTM A36.** Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado mexicano. Tiene un esfuerzo de fluencia de  $2\,530\text{ kg/cm}^2$  ( $250\text{ MPa}$ ,  $36\text{ ksi}$ ) y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de  $4\,080\text{ kg/cm}^2$  a  $5\,620\text{ kg/cm}^2$  ( $400$  a  $550\text{ MPa}$ ,  $58$  a  $80\text{ ksi}$ ), y su soldabilidad es adecuada. Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A7. Con la innovación de este tipo de acero, las conexiones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas que pronto desaparecieron.

**ASTM A529.** El ASTM A529 se usa con mucha frecuencia en la construcción de edificios de acero, también es un grado de acero común en barras y perfiles (ángulos, canales de calidad estructural). El acero A529 básico incluye grado 50 para perfiles de los grupos 1 y 2 de la ASTM; placas hasta de una pulgada de grueso y 12 pulgadas de ancho ( $25 \times 300\text{ mm}$ ) y barras hasta de  $2\,1/2\text{ in}$  ( $64\text{ mm}$ ) de grueso. Los esfuerzos  $F_y$  y  $F_u$  mínimos son  $42$  y  $60\text{-}85\text{ ksi}$  ( $2\,950$  y  $4\,220$  a  $5\,975\text{ kg/cm}^2$ ).

**ASTM A572.** Este acero está disponible en varios grados dependiendo del tamaño del perfil y grueso de la placa. El grado 50, con  $F_y = 345\text{ MPa}$  o  $50\text{ ksi}$  ( $3\,515\text{ kg/cm}^2$ ) y  $F_u = 450\text{ MPa}$  o  $65\text{ ksi}$  ( $4\,570\text{ kg/cm}^2$ ) está disponible en todos los tamaños y espesores de placa hasta  $100\text{ mm}$  ( $4\text{ in}$ ). Este es el grado de acero estructural más utilizado actualmente en el mercado estadounidense, aunque está siendo sustituido rápidamente por el acero A992 en perfiles tipo W.

**ASTM A992.** El A992 es la adición más reciente (1998) de la lista de aceros estructurales en Estados Unidos. Se produjo para usarse en construcción de edificios, y está disponible solamente en perfiles tipo W. Para propósitos prácticos se trata de un acero A572 grado 50 con requisitos adicionales. Específicamente, además de un esfuerzo de fluencia mínimo especificado de  $345\text{ MPa}$  o  $50\text{ ksi}$  ( $3\,515\text{ kg/cm}^2$ ), el A992 también proporciona un límite superior de  $F_y$  de  $65\text{ ksi}$  ( $4\,570\text{ kg/cm}^2$ ). La relación  $F_y/F_u$  no es mayor de  $0.85$  y el carbono equivalente no excede de  $0.50$ . Ofrece características excelentes de soldabilidad y ductilidad.

En la fabricación de estructuras metálicas fabricadas con aceros de alta resistencia ASTM A529, 572 y 992 se recomienda utilizar electrodos E 7018 (Resistencia mínima a la ruptura en tensión del metal de soldadura,  $F_{EXX} = 70\text{ ksi} = 4\,920\text{ kg/cm}^2$ , el 1 corresponde a electrodos adecuados para cualquier posición: plana, horizontal, vertical o sobrecabeza y el número 8 se refiere a las características de la corriente que debe emplearse y a la naturaleza del recubrimiento). El recubrimiento de este electrodo se caracteriza por tener un bajo contenido de hidrógeno y alto porcentaje de polvo de hierro.

### **Grados de acero para secciones estructurales huecas (Hollow Structural Section)**

Las normas de acero estructural aprobadas por la ASTM para secciones estructurales huecas (HSS) son ASTM A500, A501, A618, A847 y la A53.

**ASTM A53.** El acero A53 está disponible en tipos E y S, donde E denota secciones fabricadas con soldadura por resistencia y S indica soldadura sin costura. El grado B es conveniente para aplicaciones estructurales; con esfuerzo de fluencia y resistencia a la ruptura en tensión, respectivamente de 35 y 50 ksi (2 400 y 3 515 kg/cm<sup>2</sup>).

**ASTM A500.** Este tipo de acero está disponible en tubos de sección circular hueca HSS formados en frío en tres grados, y también en los mismos grados de tubos HSS formados en frío, de sección cuadrada y rectangular.

Las propiedades para tubos cuadrados y rectangulares HSS difieren de los circulares HSS. El grado más común tiene un esfuerzo de fluencia y una resistencia de ruptura a la tensión de 46 y 58 ksi (320 MPa o 3 200 kg/cm<sup>2</sup> y 405 MPa o 4 100 kg/cm<sup>2</sup>).

**ASTM A501.** Para fines prácticos El A501 es similar al acero A36. Se usa para tubos HSS de sección circular, cuadrada y rectangular.

Para el diseño de miembros estructurales de acero formados en frío, cuyos perfiles tienen esquinas redondeadas y elementos planos esbeltos, se recomienda consultar las especificaciones del Instituto Americano del Hierro y del Acero (*American Iron and Steel Institute, AISI*).

Pueden utilizarse otros materiales y productos, diferentes de los indicados en este Manual, si son aprobados por el diseñador y la contratista. La aprobación puede basarse en especificaciones técnicas publicadas que establezcan las propiedades y características del material o producto, que lo hacen adecuado para el uso que se le pretende dar, o en ensayos mecánicos o análisis químicos realizados en un laboratorio acreditado por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la *Ley Federal sobre Metrología y Normalización*.

## **I.2 NORMA LLOYD**

---

AHMSA, ha recibido la aprobación del Comité de Lloyd para fabricar los grados de acero A y B destinados a placas hasta de 32 mm (1 1/4") de grueso.

## **I.3 NORMAS ABS**

---

AHMSA, produce los grados A, B, D, E para la construcción de estructuras para barcos.

## **I.4 NORMA API**

---

AHMSA, produce los aceros descritos por el estándar 5L. Grados A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70 y X80.

## **I.5 NORMAS SAE y AISI**

---

En la tabla 1.1 se proporcionan los análisis de los aceros fabricados por AHMSA bajo esta norma.

Tabla 1.1 Composición de acero al carbón para denominaciones SAE y AISI.

Número límite de la composición química en la olla en % No. ASI.					
SAE	C	Mn	P. max.	S. max.	Correspondiente
1006	0.08 máx.	0.30 - 0.40	0.040	0.050	C1006
1008	0.10 máx.	0.25 - 0.50	0.040	0.050	C1008
1010	0.08 - 0.13	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C101D
1012	0.10 - 0.15	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1012
1015	0.13 - 0.18	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1015
1016	0.13 - 0.18	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1016
1017	0.15 - 0.20	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1017
1018	0.15 - 0.20	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1018
1019	0.15 - 0.20	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1019
1020	0.18 - 0.23	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1020
1021	0.18 - 0.23	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1021
1022	0.18 - 0.23	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1022
1023	0.20 - 0.25	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1023
1024	0.19 - 0.25	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1024
1025	0.22 - 0.28	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1025
1026	0.22 - 0.28	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1026
1027	0.22 - 0.29	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1027
1030	0.28 - 0.34	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1030
1035	0.32 - 0.38	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1035
1036	0.30 - 0.37	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1036
1037	0.32 - 0.38	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1037
1038	0.35 - 0.42	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1038
1039	0.37 - 0.44	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1039
1040	0.37 - 0.44	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1040
1041	0.36 - 0.44	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1041
1042	0.40 - 0.47	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1042
1043	0.40 - 0.47	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1043
1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1045
1046	0.43 - 0.50	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1046
1048	0.44 - 0.52	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1048
1049	0.46 - 0.53	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1049
1050	0.46 - 0.55	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1050
1052	0.47 - 0.55	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1052
1055	0.50 - 0.60	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1055
1060	0.55 - 0.65	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1060
1064	0.60 - 0.70	0.50 - 0.80	0.040	0.050	C1064
1065	0.60 - 0.70	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1065
1070	0.65 - 0.75	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1070
1074	0.70 - 0.80	0.50 - 0.80	0.040	0.050	C1074
1078	0.72 - 0.85	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1078
1080	0.75 - 0.88	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1080
1084	0.80 - 0.93	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1084
1085	0.80 - 0.93	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1085
1086	0.80 - 0.93	0.30 - 0.50	0.040	0.050	C1086
1090	0.85 - 0.98	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1090
1095	0.90 - 1.03	0.30 - 0.50	0.040	0.050	C1095
1534	0.19 - 0.25	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1524
1527	0.22 - 0.29	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1527
1536	0.30 - 0.37	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1536
1541	0.36 - 0.44	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1541
1548	0.44 - 0.52	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1548
1552	0.47 - 0.55	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1552

## I.6 NORMA BS

Designación BS 4360.

Tabla 1.2 Propiedades mecánicas de los aceros BS, kg/cm<sup>2</sup>.

Grueso (mm)	Esfuerzo de fluencia mínimo		Esfuerzo especificado de ruptura en tensión		Por ciento de alargamiento mínimo en:			
					43 A		50 B	
	43 A	50 B	43 A	50 B	2"	8"	2"	8"
16	2 495	3 620	4 385 - 5 200	4 995 - 6 320	22%	20%	20%	18%
16 a 40	2 445	3 520	4 385 - 5 200	4 995 - 6 320	22%	20%	20%	18%
40 a 63	2 345	3 465	4 385 - 5 200	4 995 - 6 320	22%	20%	20%	18%
63 a 100	2 245	3 315	4 385 - 5 200	4 895 - 6 320	22%	20%	20%	18%

## I.7 NORMAS DGN-NMX

### Grados de acero estructural

Un buen número de grados de acero estructural están disponibles en perfiles, placas y secciones estructurales huecas (tubos) en el mercado nacional. A continuación se discute brevemente los más importantes y que son reconocidos y aceptados por las normas de diseño mexicanas (*NTC-RCDF-2004*).

B-254 (ASTM A36)	Acero estructural.
B-99 (ASTM A529)	Acero estructural con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (2 950 kg/cm <sup>2</sup> ).
B-282 (ASTM A242)	Acero estructural de baja aleación y alta resistencia.
B-284 (ASTM A572)	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio.
(ASTM A588)	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de hasta 100 mm de grueso, con límite de fluencia mínimo de 345 MPa (3 515 kg/cm <sup>2</sup> ).
(ASTM A913)	Perfiles de acero de alta resistencia y baja aleación, de calidad estructural, producidos por un proceso de tratamiento térmico especial.
(ASTM A992)	Acero estructural para perfiles H laminados para uso en edificios.
B-177 (ASTM A53, grado B)	Tubos de acero, con o sin costura.
B-199 (ASTM A500)	Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en frío, con o sin costura, de sección circular o de otras formas.
B-200 (ASTM A501)	Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en caliente, con o sin costura.

En la tabla siguiente se indican los valores de los esfuerzos  $F_y$  y  $F_u$  de los aceros listados en el cuadro anterior.

Tabla 1.3 Esfuerzos  $F_y$  y  $F_u$  de aceros estructurales.

Nomenclatura		$F_y$ (3)		$F_u$ (4)	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
		320	3 235	460	4 710
		345	3 515	485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
		345	3 515	450	4 570
		414	4 220	515	5 270
		450	4 570	550	5 620
	A992	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 (5)	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 (6)	3 515 (6)	483 (6)	4 920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3 515 a 4 920 (7)	448 a 620 (7)	4 570 a 6 330 (7)

- (1) Norma Mexicana.
- (2) American Society for Testing and Materials.
- (3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material.
- (4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.
- (5) ASTM especifica varios grados de acero A500, para tubos circulares y rectangulares.
- (6) Para perfiles estructurales; para placas y barras, ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material.
- (7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70.

Cuando no existe una norma oficial mexicana para aceros utilizados en nuestro medio se ha indicado solamente la norma ASTM.

### Identificación

La especificación, incluyendo tipo o grado, en su caso, a que pertenecen los materiales o productos, se identificará de alguna de las maneras siguientes:

- a) Por medio de certificados proporcionados por el laminador o fabricante, debidamente correlacionados con el material o producto al que pertenecen; o
- b) Por medio de marcas legibles en el material o producto, hechas por el laminador o fabricante, de acuerdo con la especificación correspondiente.

### Acero estructural no identificado

Con la aprobación del diseñador, puede utilizarse acero estructural no identificado en miembros o detalles poco importantes, en los que las propiedades físicas precisas y la soldabilidad del acero no afecten la resistencia de la estructura.

## Remaches

Los remaches de acero cumplirán con la última edición de las siguientes normas:

ASTM A502 Remaches de acero estructural; esta especificación incluye tres grados:

- Grado 1 Remaches de acero al carbón para uso general;
- Grado 2 Remaches de acero al carbono-manganeso, para uso con aceros; y
- Grado 3 Semejante al Grado 2, pero con resistencia a la corrosión mejorada.

La certificación del fabricante constituye evidencia suficiente de conformidad con la norma.

## Tornillos

Los tornillos de acero de alta resistencia empleados en conexiones estructurales cumplirán con la última edición de una de las siguientes normas de la *Sociedad Americana de Ensayes y Materiales* (American Society of Testing Materials, ASTM):

- H-118 (ASTM A307) Sujetadores de acero al carbono con rosca estándar exterior ( $F_u = 414$  MPa; 4 220 kg/cm<sup>2</sup>).
- H-124 (ASTM A325) Tornillos de alta resistencia para conexiones entre elementos de acero estructural [ $F_u = 830$  MPa (8 440 kg/cm<sup>2</sup>) para diámetros de 13 a 25 mm ( $\frac{1}{2}$  a 1 pulg.),  $F_u = 725$  MPa (7 380 kg/cm<sup>2</sup>) para diámetros de 29 y 38 mm ( $1\frac{1}{8}$  y  $1\frac{1}{2}$  pulg.)].
- H-123 (ASTM A490) Tornillos de acero aleado tratado térmicamente para conexiones entre elementos de acero estructural ( $F_u = 1 035$  MPa, 10 550 kg/cm<sup>2</sup>).

Las normas para tornillos NOM-H-118 (A 307) cubren dos grados de sujetadores; ambos pueden usarse bajo las especificaciones de diseño. Sin embargo, debe notarse que el grado B se emplea generalmente para conectar bridas de tubo y el grado A es la calidad que más comúnmente se usa para fines estructurales.

## Metales de aportación y fundentes para soldadura

Los metales de aportación y fundentes para soldadura cumplirán con la última edición de una de las siguientes normas de la American Welding Society (AWS)

- H-77 (AWS A5.1) Electrodo de acero al carbono, recubiertos, para soldadura por arco eléctrico.
- H-86 (AWS A5.5) Electrodo de acero de baja aleación, recubiertos, para soldadura por arco eléctrico.
- H-108 (AWS A5.17) Electrodo desnudo de acero al carbono y fundentes para soldadura por arco eléctrico sumergido.
- H-97 (AWS A5.18) Metales de aporte de acero al carbono para soldadura por arco eléctrico protegido con gas.
- H-99 (AWS A5.20) Electrodo de acero al carbono para el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo tubular continuo.

Las nomenclaturas B-XX o B-XXX y H-XX o H-XXX designan normas elaboradas por el Comité Técnico de Normalización de la Industria Siderúrgica, oficializadas por

la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI); entre paréntesis se han indicado las normas correspondientes de la Sociedad Americana de Ensayes y Materiales (ASTM) y de la Sociedad Americana de la Soldadura (American Welding Society, AWS).

Cuando se especifican electrodos y fundentes, o ambos, de acuerdo con la designación NOM-H, debe estudiarse cuidadosamente las normas para entender bien el significado de la designación, ya que los sistemas de designación NOM-H tienen diferentes criterios. Por ejemplo, en el caso de electrodos de acero al carbono recubiertos, para soldadura por arco eléctrico, NOM-H-77 (AWS A5.1), los primeros dos o tres dígitos indican la resistencia nominal a la tensión, en millares de libras por pulgada cuadrada, del metal de aportación, y los dos dígitos finales indican el tipo de recubrimiento y otras características de la soldadura.

En cambio, en el caso de electrodos desnudos de acero al bajo carbono y fundentes para soldadura de arco sumergido NOM-H-108 (AWS A5.17), el primero o los dos primeros dígitos multiplicados por 10 indican la resistencia nominal a la tensión, mientras que el dígito o los dos dígitos finales multiplicados por 10, indican la temperatura de ensaye en grados Fahrenheit, para pruebas de impacto del metal de aportación. En el caso de electrodos de acero de baja aleación recubiertos, para soldadura por arco eléctrico NOM-H-86-1983 (AWS A5.5), ciertas partes de la designación indican requerimiento de revelado de esfuerzos, mientras que otras indican que no hay este requerimiento.

### **Conectores de cortante de barra con cabeza para construcción compuesta**

Los conectores de cortante de barra con cabeza que se utilizan en la construcción compuesta acero-concreto deben fabricarse con barras que cumplan los requisitos de la ASTM A108, "Especificación para barras de acero al carbón, terminadas en frío, de calidad estándar, grados 1010 a 1020".

Las propiedades mecánicas principales de los conectores de cortante son:

$F_y$  345 MPa (3 515 kg/cm<sup>2</sup>) (correspondiente a una deformación permanente de 0.2 por ciento)

$F_u$  414 MPa (4 220 kg/cm<sup>2</sup>)

Elongación en 50 mm 20 por ciento, mínimo

Reducción de área 50 por ciento, mínimo

Las normas indicadas anteriormente cubren casi todos los aceros estructurales que se producen actualmente en México. Las características significativas de calidad de los aceros estructurales que establecen las normas son: composición química (análisis de cuchara y de producto), propiedades mecánicas (resistencia a la tensión, límite de fluencia, requisitos de alargamiento y de doblado), tolerancias dimensionales, acabado, métodos de prueba, criterios de aceptación, etc.

Los perfiles normalizados que se tratan en este manual son fundamentalmente secciones laminadas en caliente.

La designación de los perfiles estructurales que se presentan en este manual es la del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA); se basa en la forma de la sección transversal de los perfiles, en las dimensiones nominales (peralte nominal), y

en el peso en kilogramo por metro lineal, calculado a partir de la sección transversal, admitiendo que el acero tiene un peso específico de 7 850 kg/m<sup>3</sup>.

Independientemente del tipo de perfil de que se trate el ingeniero deberá asegurarse con el productor de acero la disponibilidad y los plazos de entrega antes de definir el proyecto y establecer el pedido de material.

La gama de perfiles estructurales disponible actualmente en AHMSA es:

- 51 tamaños de vigas perfil Rectangular (IR)
- 13 tamaños de canales perfil estándar (CE)
- 13 tamaños de ángulos perfil estándar (LI y LD)

Una de las principales características de calidad de los aceros estructurales que establecen las normas mexicanas es la composición química. Aunque lo que interesa al diseñador son las características mecánicas de los aceros estructurales, la composición química es un índice de la calidad de los mismos y puede, a partir de ella, estimarse con bastante aproximación las propiedades mecánicas.

Los informes certificados de las pruebas hechas por el productor del acero, o los informes certificados de las pruebas efectuadas por el fabricante o por un laboratorio de ensayos, de acuerdo con las normas NOM-B-252-1988 (ASTM A6) ó NOM-B-266-1981 (ASTM A568), según sea aplicable, y con la especificación correspondiente, constituyen evidencia suficiente de conformidad con la norma NOM (ASTM) indicada. Adicionalmente, el fabricante, si se le solicita, proporcionará una certificación de que el acero estructural suministrado cumple con los requisitos del grado especificado.

A continuación se describen los objetivos y campos de aplicación de las normas mexicanas relativas a los aceros estructurales, tornillos, metales de aportación y fundentes para soldadura.

### **Acero estructural, NOM-B-254-1987 (ASTM A36)**

El acero ASTM A36 (NOM-B-254) ha sido, hasta hace poco tiempo en México, el principal tipo de acero para estructuras. Tiene un esfuerzo de fluencia mínimo y de ruptura en tensión de 36 y 58 ksi (2 530 y 4 080 kg/cm<sup>2</sup>). Una gran variedad de tamaños y tipos de perfiles laminados y placas están disponibles en esta calidad, aunque el esfuerzo de fluencia mínimo especificado disminuye a 32 ksi (2 250 kg/cm<sup>2</sup>) para placas de hasta de 200 mm (8 pulg.) de grueso.

La norma correspondiente establece los requisitos que deben cumplir los perfiles, placas y barras de acero al carbono, que se usan en construcciones remachadas, atornilladas o soldadas, para puentes, edificios o para propósitos estructurales en general. Incluye requisitos suplementarios cuando se requiera de alta resiliencia (resistencia al impacto). Cuando el acero se use en construcciones soldadas, el procedimiento de soldadura debe ser el adecuado para el tipo de acero y el servicio al que se destine.

### **Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de hasta 100 mm de grueso, con límite de fluencia mínimo de 345 MPa ó 3 515 kg/cm<sup>2</sup> (ASTM A588)**

Esta norma estipula los requisitos que deben cumplir los perfiles estructurales laminados utilizados en construcción soldada y atornillada, principalmente en puentes y edificios.

La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero es de aproximadamente cuatro veces mayor que la del acero estructural básico ASTM A36 (NOM-B-254).

Este tipo de acero fue aprobado en 1968, está disponible en varios grados con composiciones químicas diferentes.

El esfuerzo de fluencia mínimo especificado y resistencia a la tensión para todos los grupos ASTM de perfiles estructurales y espesores de placa de 100 mm (4 pulg.) y menores, es de 50 y 70 ksi (3 515 kg/cm<sup>2</sup> y 4 920 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente.

### **Acero estructural con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (2 950 kg/cm<sup>2</sup>) y con espesor máximo de 12.7 mm, NOM-B-99-1986 (ASTM A529)**

Esta norma indica los requisitos que deben cumplir las placas y barras de acero al carbono con espesor o diámetro hasta 12.7 mm, así como los perfiles de calidad estructural que se usan en edificios y construcciones ordinarias, los cuales pueden ser remachados, atornillados o soldados como se indica en la norma NOM-B-252-1988 (ASTM A6). Cuando las placas y barras comprendidas en esta norma se usen en construcciones soldadas, los procesos de soldadura empleados, deben ser los adecuados para el acero y el servicio al que se destine.

### **Acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio, NOM-B-284-1987 (ASTM A572)**

Esta norma menciona los requisitos que deben cumplir los perfiles, placas y barras de acero de alta resistencia y baja aleación de calidad estructural que se usan en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas, principalmente en puentes y edificios donde son importantes el ahorro en peso y la durabilidad. La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero es aproximadamente del doble que la del acero estructural básico al carbono. Cuando va a soldarse el acero, debe emplearse el procedimiento más adecuado según el grado del mismo y uso al que se destine.

### **Acero estructural de baja aleación y alta resistencia, NOM-B- 282-1987 (ASTM A242)**

Esta norma describe los requisitos que deben cumplir los perfiles, placas y barras de acero estructural de baja aleación y alta resistencia que se usan en construcciones soldadas, atornilladas o remachadas, en miembros estructurales donde son importantes el ahorro en peso y la durabilidad. Estos aceros tienen una resistencia a la corrosión atmosférica de aproximadamente el doble de los aceros estructurales al carbono con cobre. Se incluyen requisitos para materiales con espesor de hasta 100 mm. Cuando va a soldarse el acero, debe emplearse el procedimiento más adecuado de acuerdo a su grado y uso o servicio al que se destine.

### **Planchas, perfiles y barras de acero al carbono para uso estructural con baja e intermedia resistencia a la tensión, NOM-B-281-1987 (ASTM A283)**

Esta norma indica los grados de las placas de acero al carbono para uso estructural, y los grados de perfiles y barras de acero al carbono.

### **Lámina de acero al carbono laminada en caliente para uso estructural, NOM-B-347-1981 (ASTM A570)**

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la lámina de acero al carbono laminada en caliente, para uso estructural, suministrada en rollo o en hojas.

### **Lámina de acero de baja aleación y alta resistencia, laminada en caliente y laminada en frío, resistente a la corrosión, NOM-B-277-1981 (ASTM A606)**

Esta norma menciona los requisitos que debe cumplir la lámina de acero de baja aleación y alta resistencia, laminada en caliente y en frío, suministrada en hojas o en rollo. Es adecuada para emplearse en estructuras donde es importante el ahorro en peso o se requiera mayor durabilidad. Este acero tiene buena resistencia a la corrosión atmosférica y se suministra en dos clases: la clase A, que tiene una resistencia a la corrosión como mínimo de dos veces más que la de un acero al carbono para uso común, y la clase B, que tiene una resistencia a la corrosión como mínimo de 4 veces más que la de un acero al carbono para uso común.

### **Tubos de acero sin costura, negros o galvanizados por inmersión en caliente, NOM-B-177-1989 (ASTM A53)**

Esta norma señala los requisitos que deben cumplir los tubos de acero con o sin costura, negros o galvanizados por el proceso de inmersión en caliente, en tamaños nominales de 1/8" hasta 26" y en los espesores de pared nominal (promedio) indicados en las tablas 6 y 7 de la norma. Pueden suministrarse tubos con otras dimensiones, siempre y cuando cumplan con los demás requisitos de la norma. En la NOM-B-179 se incluye una relación más extensa de dimensiones nominales en que pueden fabricarse estos tubos.

### **Tubos de acero al carbono, sin costura o soldados, formados en frío, para usos estructurales, NOM-B-199-1989 (ASTM A500)**

Esta norma menciona los requisitos que deben cumplir los tubos sin costura o soldados de acero al carbono, formados en frío, que se emplean en la construcción de puentes, edificios o para cualquier fin estructural en general, con conexiones soldadas, remachadas o atornilladas. Los tubos pueden ser de sección circular, cuadrada, rectangular o de forma especial, con las siguientes dimensiones:

- a) Tubos soldados. Perímetro máximo de 1,626 mm y espesor de pared máximo de 15.9 mm.
- b) Tubos sin costura. Perímetro máximo de 1,626 mm y espesor de pared máximo de 15.9 mm.

Los tubos descritos por esta norma pueden ser inadecuados para elementos sujetos a cargas dinámicas. En estos casos se recomienda consultar al fabricante.

### **Tubos de acero al carbono, sin costura o soldados, formados en caliente para usos estructurales, NOM-B-200-1989 (ASTM A501)**

Esta norma indica los requisitos que deben cumplir los tubos sin costura o soldados de acero al carbono, formados en caliente, de sección cuadrada, rectangular, circular o de forma especial, para usos estructurales en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas que se emplean en puentes, edificios o estructuras en general. Los tubos cuadrados y rectangulares se suministran en dimensiones de 25.4 mm a 254 mm por lado con espesor de pared de 2.4 mm a 25.4 mm, dependiendo del tamaño; los tubos redondos se suministran de un tamaño nominal de 1/2" a 24", con un espesor de pared (promedio nominal) de 2.8 mm a 25.4 mm, dependiendo del tamaño. Se pueden suministrar tubos que tengan otras dimensiones siempre y cuando cumplan con los requisitos de esta norma.

Los tubos pueden suministrarse galvanizados con el proceso de inmersión en caliente.

### **Sujetadores roscados externamente de acero al carbono, NOM-H-118-1988 (ASTM A307)**

Esta norma menciona los requisitos mecánicos y químicos de dos grados de sujetadores de acero al carbono con rosca exterior, con diámetros de 6.3 mm a 100 mm (1/4" a 4").

### **Tornillos de alta resistencia para uniones de acero estructural, NOM-H-124-1988 (ASTM A325)**

Esta norma indica los requisitos mecánicos y químicos que deben cumplir los diferentes tipos de tornillos de acero, templados y revenidos, conocidos como tornillos de alta resistencia, para conexiones de acero estructural.

### **Tornillos de acero aleado, templados y revenidos para juntas de acero estructural, NOM-H-133-1988 (ASTM A490)**

Esta norma señala los requisitos mecánicos y químicos que deben cumplir los tornillos de acero de aleación templado y endurecido, en diámetro de 12.7 a 38.1 mm (de 1/2" hasta 1 1/2").

Estos tornillos son adecuados para usarse en conexiones de acero estructural, según la norma NOM-H-124.

## **I.8 ASPECTOS GENERALES DEL ACERO ESTRUCTURAL**

---

El acero es el metal más importante utilizado para fines estructurales porque combina una alta resistencia, tanto en tensión como en compresión, con gran rigidez (módulo de elasticidad elevado), y facilidad de fabricación, con un precio relativamente bajo. El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene, además un comportamiento estable bajo inversiones de carga y tiene una relación resistencia/peso favorable.

### **Propiedades relevantes**

Las propiedades mecánicas del acero están influenciadas de manera importante por el proceso de laminación, velocidad de enfriamiento, tratamiento térmico, temperatura de servicio, deformación en frío, tipo de sollicitaciones, etc, por lo que es muy conveniente analizar cada uno de estos factores para establecer los criterios de selección de la calidad y tipo de material más recomendable para una aplicación específica.

Las propiedades mecánicas de los aceros son las características más importantes para su aplicación en estructuras, debido a que el diseño y la fabricación de este tipo de estructuras se basan en su conocimiento. Aunque lo que interesa principalmente al diseñador o al proyectista son las características mecánicas de los aceros estructurales, la composición química es un índice de calidad de los mismos, y puede, a partir de ésta, determinar con bastante aproximación las propiedades mecánicas.

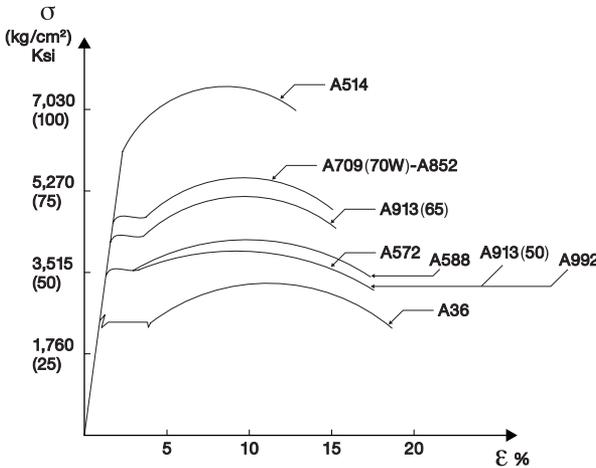
### **Resistencia**

El acero estructural es un material homogéneo e isótropo de calidad uniforme que permite soportar grandes esfuerzos, por lo que en la mayoría de los casos se obtienen miembros con espesores relativamente pequeños en comparación con sus otras dimensiones.

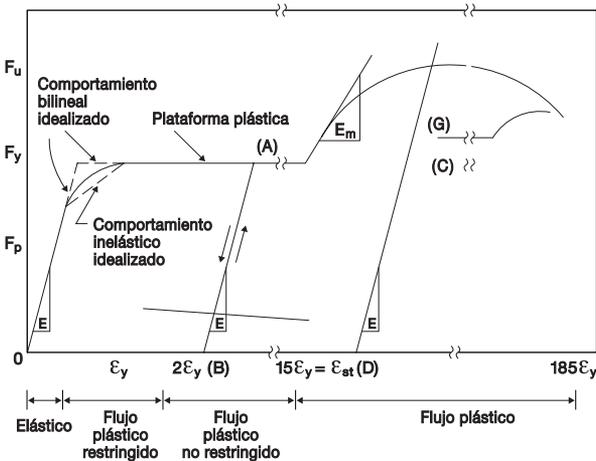
Estas propiedades le dan mayores niveles de seguridad a una estructura sobre todo cuando está sujeta a esfuerzos causados por cargas accidentales, principalmente sismo o viento, ya que estas fuerzas pueden ocasionar inversiones de esfuerzos.

La resistencia a las diversas sollicitaciones de los miembros estructurales de acero depende de la forma del diagrama esfuerzo-deformación, y particularmente de los esfuerzos de fluencia  $F_y$  y de ruptura en tensión  $F_u$ .

En el diseño de una estructura se buscará el equilibrio entre fuerzas externas e internas de tal manera que se obtenga una estructura resistente a las sollicitaciones actuantes.



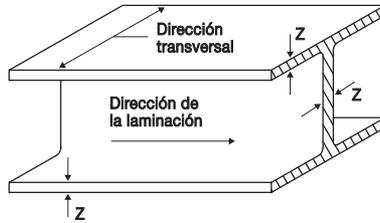
Gráfica esfuerzo - deformación para varios grados de acero estructural.



Gráfica esfuerzo-deformación del acero.  
Intervalos de comportamiento estructural.

La gráfica debe mostrar una zona amplia de deformaciones crecientes bajo esfuerzo constante, con alargamiento a la ruptura no menor del 20% en probeta de 50 mm (2") y una zona de endurecimiento por deformación, tal que la relación entre la resistencia a la ruptura en tensión y el esfuerzo de fluencia,  $F_u/F_y$  esté comprendida entre 1.2 y 1.8.

La dirección en que se laminan los perfiles estructurales y placas es la de mayor interés en el diseño de las estructuras, por lo que el esfuerzo de fluencia en esa dirección, determinado por medio de ensayos estándar de tensión, es la propiedad mecánica que decide, en la mayoría de los casos, el tipo de acero que ha de emplearse.



Z= dirección perpendicular al grueso de los perfiles laminados.

Terminología relacionada con la dirección de la laminación de perfiles estructurales IR.

En el diseño sísmico debe cuidarse que la resistencia real del acero no sea mayor que la supuesta, pues esto, que es ventajoso para cargas estáticas, puede no serlo si cambian las secciones donde se formarán las articulaciones plásticas correspondientes al mecanismo que se tomó como base para el diseño, o crecen, por ejemplo, los momentos que transmiten las vigas a las columnas. Además, los aumentos de resistencia están acompañados por pérdida de ductilidad.

Para que las resistencias más elevadas contribuyan a estructuras más económicas, han de combinarse con sistemas estructurales adecuados, pues de nada servirán si el diseño queda regido por el control de deformaciones.

### Ductilidad

El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene además un comportamiento estable bajo inversiones de carga y tiene una relación resistencia- peso conveniente.

El acero puede aceptar deformaciones importantes más allá del límite elástico sin fallar, tiene pues capacidad para permitir las deformaciones inelásticas que puedan requerirse. Puede utilizarse para construir estructuras estáticamente indeterminadas que satisfagan los requisitos de diseño sísmico. Es por consiguiente, muy conveniente para construcciones ubicadas en zonas de alta sismicidad. No obstante, la ductilidad intrínseca del acero no se conserva necesariamente en la estructura terminada, por lo que debe procederse con mucho cuidado durante el diseño y la construcción para evitar la pérdida de esta propiedad.

Es esta propiedad, característica intrínseca del acero estructural, que no exhibe en forma completamente clara ningún otro material de construcción, y que hace posible la aplicación del análisis plástico al diseño de estructuras.

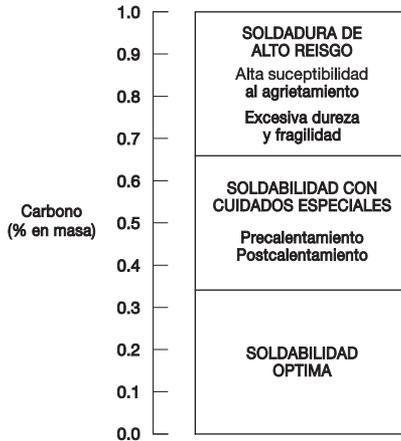
No todos los aceros cumplen con los requisitos de ductilidad que se requieren en zonas de alta sismicidad; específicamente se requiere un comportamiento como el que se muestra en la figura 2 en que se representa esquemáticamente la gráfica esfuerzo-deformación de una probeta durante la prueba de tensión.

El hecho de que el acero estructural sea dúctil no implica que la estructura fabricada con este material sea también dúctil; por el contrario, para lograrlo deben tomarse en cuenta una serie de precauciones, a veces no fáciles de conseguir, que son los que hacen que una estructura de acero pueda considerarse adecuada para funcionar en zonas sísmicas.

La ductilidad depende fundamentalmente de la composición química del acero, de la estructura metalográfica y de la forma, tamaño y distribución de las inclusiones no metálicas y de segregaciones. Esta propiedad ha adquirido una importancia fundamental en los criterios actuales de diseño sísmico de estructuras.

### Soldabilidad

La soldabilidad se define como el conjunto de propiedades que tiene un acero estructural para permitir efectuar uniones o conexiones soldadas que presenten características suficientes de continuidad metalúrgica, tomando en cuenta que esta propiedad debe definirse respecto a un proceso de soldadura determinado. Las características del acero, y particularmente su composición química influyen de manera importante en la soldabilidad.



Efecto del carbono en la soldabilidad del acero.

Una manera sencilla para determinar la soldabilidad del acero son las fórmulas del carbono equivalente que se indican a continuación; expresan la influencia relativa de los elementos químicos respecto al carbono en la soldabilidad.

$$CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + Nb + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (1)$$

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (2)$$

$$CE = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad (3)$$

Soldabilidad del acero en función del carbono equivalente.

Carbono equivalente CE	Soldabilidad
$CE < 0.40$	Excelente
$0.41 < CE \leq 0.45$	Buena
$0.46 < CE \leq 0.52$	Regular
$CE > 0.52$	Pobre

Cuando el carbono equivalente (CE) se determina con la ecuación (1), la soldabilidad es aceptable si el valor de CE es menor de 0.50. La ecuación (2), propuesta por el Instituto Internacional de la Soldadura (Internacional Institute of Welding, IIW) probablemente es la más utilizada.

### Tenacidad

Es la medida de energía por unidad de volumen necesaria para deformar un cuerpo hasta el momento de la fractura. Esta propiedad tiene importancia especial en el diseño sismorresistente.

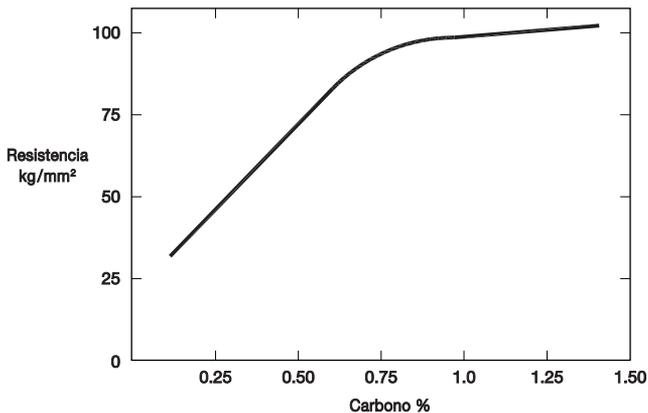
Se utiliza la prueba de impacto charpy en V para determinar la capacidad que tiene un acero para absorber energía hasta llegar a la fractura. Los factores que influyen en la tenacidad del acero son: composición química, estructura metalográfica, inclusiones no metálicas y segregaciones. Con relación a la composición química del acero, la presencia de elementos fragilizantes como el carbono, fósforo, nitrógeno, actúan en detrimento de la tenacidad. La presencia de estructuras frágiles y la presencia de grano grueso influyen de manera perjudicial en la tenacidad del acero.

### Influencia de los elementos químicos en las propiedades del acero

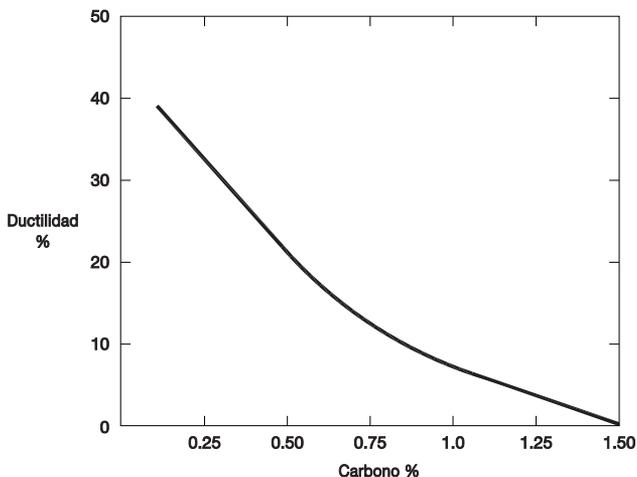
Todos los aceros contienen además del carbono otros elementos químicos que en parte son debidos al proceso de producción adoptado, o que le han sido agregados para obtener determinadas propiedades en su aplicación. Los elementos químicos que intervienen en una aleación del acero son: hierro, carbono, manganeso, silicio, columbio, níquel, azufre, fósforo, etc.

**Hierro (Fe):** El hierro es el elemento simple más importante en el acero, y comprende aproximadamente el 95% de su composición. Los aceros con un porcentaje bajo de hierro no se clasifican como “estructurales”.

**Carbono (C):** Después del hierro, el carbono es el elemento químico más importante en el acero. Un incremento del carbono aumenta la resistencia del acero y reduce su ductilidad y soldabilidad: los aceros estructurales usuales típicamente tienen contenido de carbono que varía de 0.05 a 0.25%. Los aceros estructurales de hace más 40 años tenían contenido de carbono que variaba de 0.15 a 0.25%. Los aceros ASTM A36 y ASTM A7 son un ejemplo de estos tipos de acero.



Efecto del contenido del carbono en la resistencia de los aceros estructurales.



Efecto del contenido del carbono en la ductilidad de los aceros estructurales.

En los últimos cinco años se han desarrollado aceros con menor contenido de carbono. Estos son aleados para alcanzar la resistencia y ductilidad requeridas. Esto ha sido posible gracias a nuevos procesos de producción (arco eléctrico), técnicas de metalurgia y colada continua. El bajo contenido de carbono también mejora la soldabilidad.

**Manganeso (Mn):** El manganeso tiene efectos similares a los del carbono. Se usa en aceros estructurales en cantidades que varían de aproximadamente 0.5 a 1.7%.

**Silicio (Si):** El silicio es uno de los dos elementos desoxidantes más importantes del acero, lo que significa que es muy efectivo para remover oxígeno del acero durante el vaciado y proceso de solidificación. El contenido típico del silicio en aceros estructurales es menor de 0.4%, pero debe ser por lo menos 0.1% .

**Columbio (Cb):** El Columbio (llamado Niobio en Europa) se usa para mejorar la resistencia del acero. Tiene efectos similares a los del manganeso y vanadio, y frecuentemente se usa en combinación con el vanadio. Debido a los requisitos de soldabilidad, el  $C_b$  se usa en cantidades menores de 0.05. (Ejemplo, el acero A572).

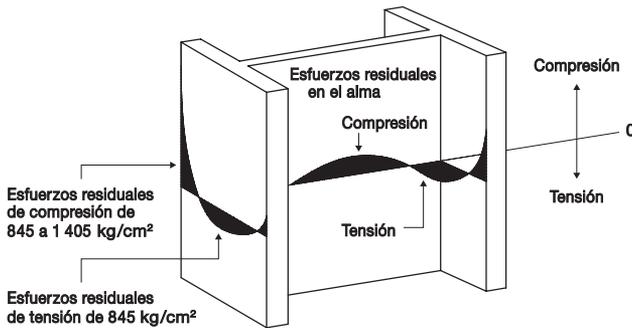
**Níquel (Ni):** El níquel es un agente poderosamente anticorrosivo, y también es uno de los elementos más importantes para aceros de alta tenacidad. El contenido de níquel generalmente varía entre 0.25 y 1.5%, dependiendo de los requisitos del acero.

**Azufre (S) y Fósforo (P):** Ambos elementos son perjudiciales en la resistencia del acero, pero especialmente en la ductilidad y soldabilidad. El azufre promueve la segregación del acero. Por esta razón, el contenido de S y P se limita a no más de 0.04 a 0.05%. Los aceros de colada continua generalmente tienen un contenido de azufre de alrededor de 0.02 a 0.03%.

### Factores que influyen en la resistencia del acero

#### Esfuerzos residuales

En general, todos los miembros estructurales de acero están sometidos a esfuerzos internos producidos por las deformaciones permanentes durante el proceso de fabricación y laminación, principalmente a causa del enfriamiento irregular del acero desde la temperatura de laminación hasta la ambiente. Estos esfuerzos internos de tensión y compresión reciben el nombre de esfuerzos residuales y su magnitud y distribución dependen de varios factores: geometría de la sección transversal del miembro, procesos de laminación, proceso de soldadura, condiciones de enfriamiento y tratamiento térmico posterior. El efecto de los esfuerzos residuales es el de modificar el diagrama esfuerzo-deformación de los miembros estructurales reales con respecto al obtenido en probetas de material. Este aspecto es muy importante en miembros sometidos a compresión axial.



Esfuerzos residuales en perfiles estructurales laminados en caliente IR o W.

En los perfiles I y H los esfuerzos residuales máximos aparecen en los extremos de los patines; en perfiles laminados, su valor medio en esos puntos es de aproximadamente 900 kg/cm<sup>2</sup>, prácticamente independiente del esfuerzo de fluencia del acero, por lo que influyen menos en la capacidad de carga de las columnas de acero de alta resistencia, pues constituyen un porcentaje menor de su esfuerzo de fluencia.

En secciones I y H fabricadas con placas soldadas, son, en general, más elevados, su magnitud y distribución dependen del tipo de placas que forman el alma y los patines, Pueden eliminarse, casi por completo, por medio de tratamientos térmicos.

**Efecto de trabajo en frío**

Se ha demostrado que cualquier proceso en frío, tal como el alargamiento y el doblado, afecta las propiedades mecánicas del acero, de modo que el material exhibe propiedades diferentes de las que tenía antes de someterse a estos procesos.

En general, el tratamiento en frío incrementa el esfuerzo de fluencia,  $F_y$ , y en menor grado la resistencia a la fractura,  $F_u$ , pero siempre disminuye la ductilidad.

**Efecto de la temperatura**

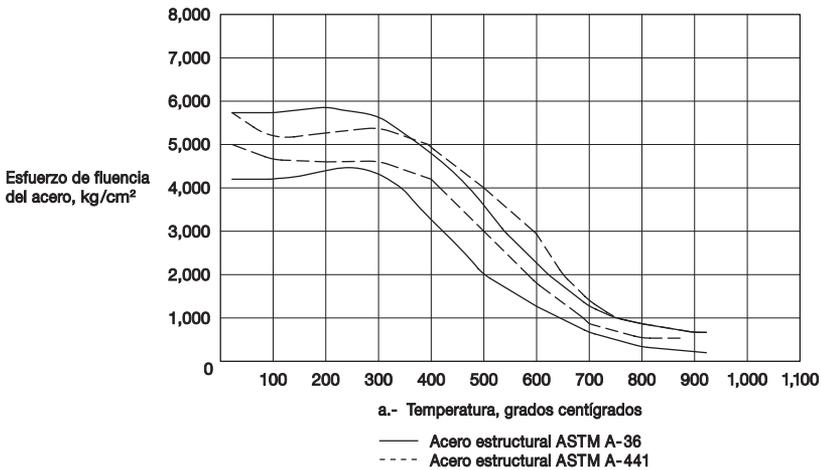
El comportamiento del acero es muy sensible a los cambios extremos respecto a la temperatura ambiente.

**Efecto de bajas temperaturas**

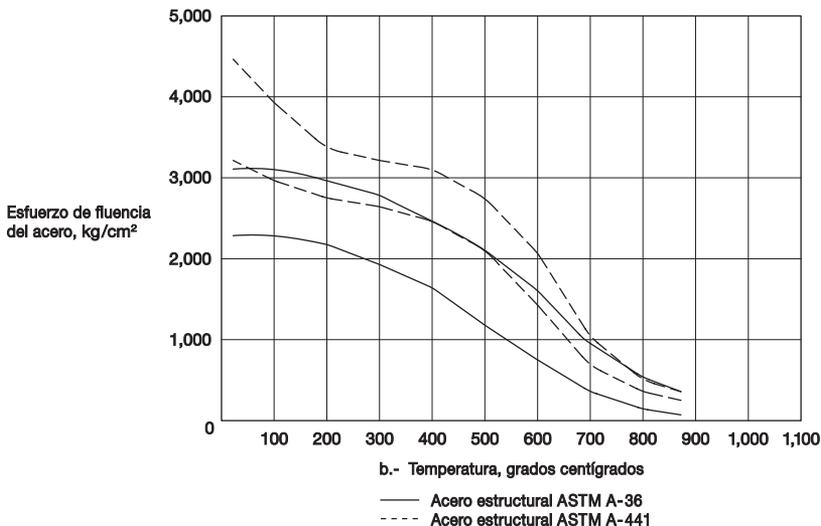
A temperaturas normales el acero estructural posee una gran cantidad de absorción de energía y la falla es dúctil, pero cuando comienza a descender la temperatura su comportamiento va de dúctil a frágil a partir de una temperatura denominada temperatura de transición.

**Efecto de altas temperaturas**

Si bien el acero es un material incombustible; cuando se somete a una temperatura alta la curva esfuerzo deformación deja de ser lineal. A medida que se incrementa la temperatura las propiedades mecánicas del acero se reducen drásticamente.



Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión de los aceros estructurales a temperaturas elevadas.



Efecto de la temperatura en la resistencia del acero.

Desde el punto de vista de funcionamiento en condiciones de servicio, las estructuras de acero y sus elementos estructurales deben estar protegidos para que resistan los efectos del fuego durante el tiempo que dure un incendio o en un determinado tiempo. A partir de ensayos de laboratorio de elementos de acero sometidos a temperaturas elevadas se obtienen curvas temperatura-tiempo que establecen la duración de la resistencia al fuego, así como una clasificación y características de los diversos materiales que resisten el fuego y su nivel de protección.

En edificios industriales es difícil aplicar revestimientos de protección contra fuego, por lo que se instalan sistemas completos de detección, alarma y extinción de incendios. En edificios urbanos, los elementos estructurales se protegen con materiales resistentes al fuego (pinturas especiales)

### Corrosión

La corrosión es el resultado de una acción compleja electroquímica. El nivel de corrosión en el acero depende de las condiciones ambientales.

En estructuras de acero se distingue el óxido de laminación, que se produce por efecto del agua en el metal al rojo vivo durante el proceso de laminación, del óxido atmosférico que se inicia a medida que se desprende la costra de laminación.

La intensidad de la corrosión depende de las condiciones ambientales del lugar de la obra. Los efectos de la corrosión se miden por medio del grueso del material que se degrada (milésimos de pulgada).

Las pinturas son el método más utilizado para proteger el acero estructural. Para utilizar una pintura eficaz y duradera, además de una preparación adecuada de la superficie, es necesaria una elección correcta de la pintura, así como una ejecución adecuada de las capas protectoras.

El diseñador debe sugerir disposiciones constructivas contra la corrosión, por ejemplo, soluciones y formas que aseguren la evacuación de las aguas pluviales, evitando la acumulación de éstas sobre superficies que puedan generar una corrosión local intensa (techos planos), y tener accesibilidad a todos los sitios de la estructura para dar mantenimiento preventivo.

### **Efecto de las cargas repetidas (fatiga)**

Cuando un elemento estructural o una junta están sujetos a cargas de intensidad variable repetidas, durante un número elevado de veces, puede presentarse la fractura bajo magnitudes de carga menores. A este fenómeno se le conoce como fatiga.

La falla por fatiga consiste en la fractura del material, bajo esfuerzos relativamente reducidos, después de un número suficientemente grande de aplicaciones de la carga, que pueden o no incluir cambios de signo en los esfuerzos.

La fractura se inicia en un lugar donde hay una pequeña imperfección que puede ser de tamaño microscópico, y se propaga en forma de una grieta, que suele crecer lentamente, hasta que la pieza se rompe.

Las fracturas por fatiga, que se presentan asociadas con esfuerzos normales de tensión, se inician con una deformación aparentemente muy reducida, son de naturaleza frágil, es decir, están acompañadas por deformaciones muy limitadas. La fractura por fatiga se propaga lentamente y presenta un aspecto característico, ya que en la superficie de la fractura aparecen dos zonas claramente diferenciadas, una lisa y generalmente brillante, y otra de granos gruesos y mate.

Por consiguiente, cuando un elemento de acero estructural falla por fatiga, su comportamiento no es dúctil y dado que no puede efectuarse una redistribución de esfuerzos, los métodos de diseño modernos no son válidos a estructuras sometidas a un número importante de repeticiones de carga.

La resistencia a la fatiga de un metal depende del número total de repeticiones de carga a que queda sometido y no depende del tiempo total bajo la carga, así mismo es función de la magnitud del rango de esfuerzos y de la amplitud de la parte variable de los ciclos de carga.

No es posible establecer reglas generales para el diseño de elementos estructurales cuya resistencia a la fatiga sea un factor predominante y en los que el problema se complique por su forma geométrica, número muy elevado de ciclos de carga, etc. Sin embargo, las concentraciones de esfuerzos ocasionados por discontinuidades o muescas, cambios bruscos de sección, deficiencias en la fabricación, hacen que disminuya de manera importante la resistencia de las uniones a la fatiga y de los miembros estructurales por lo que deberán eliminarse o reducirse drásticamente en la zonas críticas de las piezas sometidas a cargas repetidas.

Los valores del esfuerzo de fluencia,  $F_y$ , y de ruptura en tensión,  $F_u$ , que se utilizarán en el diseño, serán los mínimos especificados en la norma correspondiente. No se emplearán en el diseño los valores reportados en certificados de ensayos de los productos laminados.

## Fractura frágil

La fractura frágil es más frecuente en estructuras soldadas que en estructuras unidas con tornillos de alta resistencia, debido a una combinación de posibles defectos de la soldadura, a esfuerzos residuales elevados y a continuidad de los elementos estructurales que reduce la probabilidad de que las grietas no se propaguen de unas partes de la estructura a otras.

Durante la fabricación y el montaje de las estructuras, deben tomarse las medidas necesarias para reducir los fenómenos que pueden ocasionar un comportamiento frágil. Si las condiciones son especialmente severas deben emplearse aceros con resistencias al impacto adecuada a bajas temperaturas.

Las soldaduras de perfiles o placas laminadas, que tengan por objeto transmitir fuerzas en la dirección perpendicular al grueso deben hacerse con mucho cuidado, pues de otra manera pueden ocasionar desgarramientos laminares ("*lamerar tearing*").

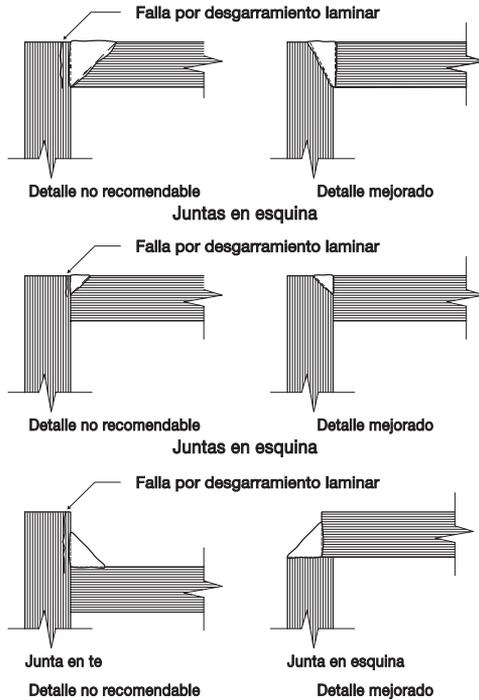
La resistencia perpendicular al grueso de los aceros es similar a las que tienen en la dirección longitudinal o transversal pero su capacidad de deformación en esta dirección es con frecuencia solo poco mayor que la deformación correspondiente al límite de elasticidad.

El desgarramiento laminar ocurre en placas muy restringidas, por pérdida de cohesión entre inclusiones microscópicas no metálicas y el material que las rodea, debido a la capacidad del metal base de admitir las deformaciones impuestas por contracciones de la soldadura en la dirección normal al grueso de la placa. Puede presentarse en material de cualquier espesor, pero es mucho más frecuente en placas gruesas porque en ellas se depositan soldaduras de mayor tamaño, que se contraen más durante el enfriamiento.

La experiencia muestra que el desgarramiento laminar no se presenta nunca en material de menos de 20 a 25 mm de grueso, pero han ocurrido algunos casos en metal más delgado. La consideración de diseño más importante es reducir la concentración de deformaciones en dirección normal al espesor en áreas localizadas. En la figura 10 se muestran detalles que pueden ocasionar desgarramientos laminares, y algunas ideas de cómo mejorarlos.

Por lo anterior, los detalles de diseño bien realizados que logran una geometría que evita concentraciones severas de esfuerzos, y una buena mano de obra, son generalmente los medios más eficaces para lograr construcciones resistentes a fracturas frágiles. Sin embargo, para condiciones de servicio especialmente severas tales como temperaturas de trabajo muy bajas con cargas que producen impacto, puede ser necesario utilizar aceros con mayor resiliencia.

Las temperaturas moderadas a las que trabajan las estructuras de acero para edificios, la lentitud con que se aplican las cargas sobre ellas, la magnitud de los esfuerzos y el número de ciclos asociados con los esfuerzos de diseño, hacen muy remota la probabilidad de este tipo de falla en estructuras urbanas.



Desgarramiento laminar debido a contracción de juntas soldadas grandes.  
 Detalles susceptibles y mejorados.

### Selección de aceros estructurales

El acero estructural básico utilizado durante más de 40 años en México hasta hace poco tiempo ha sido el NOM-B-254 (ASTM A36) y el primer tipo de acero utilizado para fines estructurales fue el ASTM A7, que ya no se produce desde hace muchos años pero que aparece, frecuentemente, al revisar estructuras de acero antiguas; tenía un esfuerzo de fluencia de 2 320 kg/cm<sup>2</sup> (33 ksi, 228 MPa), y su soldabilidad era pobre; sobre todo en material grueso, pues se desarrolló para la construcción remachada, sin controlar adecuadamente su contenido de carbono.

Debe mencionarse que la tendencia actual y futura es utilizar aceros de resistencia más elevada que los que se empleaban en el pasado; el acero estructural básico, el NOM-B-254 (ASTM A36), con límite de fluencia de 2 530 kg/cm<sup>2</sup> (36 ksi, 250 MPa), está siendo sustituido por aceros grado 50, con esfuerzo de fluencia de  $F_y = 3\,515$  kg/cm<sup>2</sup> (50 ksi, 345 MPa), y en ocasiones se usan resistencias todavía mayores ( $F_y = 4\,570$  kg/cm<sup>2</sup>, 65 ksi, 450 MPa). Mientras tanto, en los Estados Unidos desde hace varios años se utiliza el acero A992 en secciones laminadas W.

Por lo anterior, la mejor guía para seleccionar un acero adecuado para una aplicación determinada es la experiencia adquirida con estructuras existentes. En nuestro país, como se indicó anteriormente, el acero estructural NOM-B-254 (ASTM A36) se ha utilizado con éxito durante muchos años en diversas aplicaciones, tales como edificios convencionales, torres de transmisión de energía eléctrica, equipo de transporte y puentes.

Los procedimientos de diseño estipulados en las especificaciones IMCA-2003, normas NTC-RDF-2004 y especificaciones AISC-2005, son válidos para aceros y elementos estructurales que tengan un comportamiento dúctil; por tanto, deberán evitarse todas las condiciones que puedan ocasionar una falla frágil, tales como el empleo de aceros con altos contenidos de carbono, la operación de las estructuras a temperaturas muy bajas, la aplicación de cargas que produzcan impacto importante, la presencia excesiva de discontinuidades en forma de muescas en la estructura y las condiciones de carga que produzcan un estado triaxial de esfuerzos en el que la relación entre el cortante máximo y la tensión máxima sea muy pequeña, y sobre todo deberá evitarse la presencia simultánea de varias de esas condiciones.

También debe prestarse especial atención a aquellos fenómenos de pandeo que propician la inestabilidad de una estructura: pandeo general, pandeo local, pandeo lateral y pandeo lateral por flexotorsión. Sin embargo, otras propiedades mecánicas del acero, tales como anisotropía, ductilidad, tenacidad, facilidad de formado en frío, resistencia a la corrosión, pueden ser también importantes para el comportamiento correcto de algunas estructuras.

En los casos, poco frecuentes, en que las condiciones de trabajo puedan provocar fallas de tipo frágil (estructuras que estarán sometidas a temperaturas muy bajas; son un ejemplo los tanques de almacenamiento de gases industriales, como el oxígeno y el nitrógeno, en estado líquido), se emplearán materiales de alta ductilidad que puedan fluir ampliamente en puntos de concentración de esfuerzos, a la temperatura de trabajo más baja, o la estructura se diseñará de manera que los esfuerzos que se presenten en las zonas críticas sean suficientemente bajos para evitar la propagación de las grietas que caracterizan las fallas frágiles. En estas situaciones deben utilizarse aceros que tengan propiedades adecuadas para trabajar a las temperaturas mínimas previstas.

No es posible incorporar aquí toda la información necesaria para dar una explicación completa relativa a todos los factores que deben considerarse en la selección de aceros para aplicaciones especiales. Para esos casos se recomienda al usuario de las normas y especificaciones consultar la literatura especializada sobre las propiedades específicas que le interesan, para que pueda elegir el material más adecuado de los listados por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial o de la Sociedad Americana de Ensayes y Materiales (American Society of Testing Materials).

Como ejemplo, puede mencionarse el diseño de conexiones soldadas entre elementos estructurales cuyas deformaciones locales están muy restringidas. El acero laminado es anisótropo, especialmente en lo que a ductilidad se refiere; en consecuencia, las deformaciones producidas por las contracciones de la soldadura en las zonas de alta restricción de algunas conexiones soldadas pueden exceder la capacidad de deformación del material si no se pone especial cuidado en su selección, en los detalles constructivos y en la mano de obra e inspección. Esto es especialmente cierto cuando se aplican fuerzas importantes de tensión en la dirección perpendicular a la de laminación. Otra situación especial es la que se presenta cuando se diseña para evitar fracturas frágiles bajo ciertas condiciones de servicio. Las temperaturas moderadas a las que trabajan las estructuras de acero de edificios, la lentitud con que se aplican las cargas sobre ellas, la magnitud de los esfuerzos y el número de ciclos con los esfuerzos de diseño, hacen muy remota la probabilidad de ese tipo de fallas en estructuras urbanas.

Tabla 2 Normas, propiedades mecánicas y composición química de los aceros estructurales utilizados en la construcción en acero.

Tipo de acero	Normas		F <sub>y</sub> <sup>b</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> <sup>b</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	Formas	Usos principales	Composición química <sup>b</sup> , (%)						Resistencia relativa a la corrosión respecto al acero común	
	NOM	ASTM					C máx	Mn máx	Si	S máx	P máx	Otros	1	2
A I C a r b o n o	B-254	A-36	2 530	4 080 - 5 620	Placas, barras y perfiles	Construcción soldada, atornillada y remachada; fines estructurales en general.	0.26 - 0.29 <sup>b</sup>	0.60 - 1.20	0 y 0.15-0.3	0.05	0.04	C <sub>u</sub> =0 C <sub>u</sub> =0.20	1 2	
	B-177	A-53 (Grado B)	2 460	4 220 mín	Tubos con o sin costura	Similar al acero A36 (NOM B-254) para aplicaciones en estructuras a base de tubos, etc.	0.30	1.20	---	0.05	0.06	---	---	
	B-199	A-500	2 320 3 235 <sup>c</sup>	3 165 4 080 <sup>c</sup>	Tubos formados en frío, sin costura o soldados de sección cuadrada, rectangular o de otras formas	Similar al acero A36 (NOM B-254).	---	---	---	---	---	---	---	
	B-200	A-501	2 530	4 080	Tubos sin costura o soldados formados en caliente, redondos, cuadrados, rectangulares o de forma especial	Similar al acero A36 (NOM B-254).	0.26	---	---	0.05	0.04	C <sub>u</sub> =0 C <sub>u</sub> =0.20	1 2	
	B-99	A-529	2 950	4 220 - 5 975	Placas y barras con espesor máximo de 13 mm	Similar al acero A36 (NOM B-254).	---	---	---	---	---	---	---	
	B-347	A-570	2 110- 3 520	3 445- 4 570	Lámina	Miembros construidos con perfiles de acero formados en frío para edificios.	0.25	0.90 - 1.35 <sup>c</sup>	---	0.05	0.04	C <sub>u</sub> =0.20	---	

Tabla 3 Normas, propiedades mecánicas y composición química de los aceros estructurales utilizados en la construcción en acero.

Normas	F <sub>y</sub> <sup>b</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> <sup>b</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	Formas	Usos principales	Composición química <sup>b</sup> , (%)						Resistencia relativa a la corrosión respecto al acero común
					C máx	Mn máx	Si	S máx	P máx	Otros	
B-282	2 950 3 520	4 430 4 920	Placas, barras y perfiles	Fines estructurales en general, construcción soldada, atornillada y remachada.	0.15 - 0.20 <sup>c</sup>	1.0 - 1.35 <sup>c</sup>	-	0.05	0.15 - 0.04 <sup>c</sup>	Cu=0.20 o Cr=0.50 + Si=0.05	4  4
B-284	2 810 3 520	4 220 4 920	Placas, barras y perfiles	Uso estructural en general, construcción soldada, atornillada y remachada.	0.22	0.85 - 1.25	0.30 máx	0.05	0.04	min. Cu=0.20 V=0.02	2
A-446	2 320 2 600 2 810 3 515 5 625	3 165 3 655 3 865 4 570 5 765	Placas y perfiles IPR	Lámina galvanizada revestida de zinc en rollo cortada en longitudes comerciales, miembros estructurales fabricados con perfiles formados en frío, para estructura de edificios estandarizados, conexiones soldadas, atornilladas y remachadas en frío.							
B-277	3 165 3 520	4 570 4 920	Lámina fabricada en caliente y en frío	Miembros o componentes de estructuras de acero para edificios, construcción, soldadas y atornilladas.	0.26	1.30	---	0.06	---	---	2 - 4 <sup>c</sup>
A-588	2 950 3 515	4 430 4 920	Placas y barras resistentes a la corrosión	Construcción atornillada y remachada.	0.10 <sup>a</sup> 0.20 °C	0.98 <sup>a</sup> 1.35 °C	0.15 <sup>a</sup> 0.90 °C	0.04 <sup>a</sup> 0.05 °C	0.05	Cu, Cr Ni, Mo	4
A-606	3 165 3 515	4 570 4 920	Placa	Perfiles formados en frío de calibres de galgas resistentes a la corrosión.	0.26	1.30		0.06			2 - 4 °C

Tabla 4 Normas, propiedades mecánicas y composición química de los aceros estructurales utilizados en la construcción en acero.

Normas	F <sub>y</sub> <sup>b</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	F <sub>u</sub> <sup>b</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	Formas	Usos principales	Composición química <sup>b</sup> , (%)						Resistencia relativa a la corrosión respecto al acero común
					C máx	Mn máx	Si	S máx	P máx	Otros	
NOM ASTM A-607	3 165 4 920	4 228 5 980	Lámina	Miembros formados en frío para fines estructurales.	0.26 a 0.30 <sup>o</sup>	1.40 a 1.70 <sup>o</sup>	---	0.06	0.05	Co, V Cu=0.2 0	1 0 2
A-611	1 760 2 110 2 320 2 810 5 625	2 955 3 165 3 375 3 655 5 765	Lámina de acero laminada en frío	Miembros estructurales fabricados con perfiles formados en frío para edificios especialmente estandarizados, conexiones soldadas, atornilladas y remachadas en frío.							
A-618	3 165	4 570 4 920	Perfiles y tubos circulares laminados en caliente	Construcción remachada, atornillada y soldada.	0.22 0.23 <sup>o</sup>	0.85 1.35 <sup>o</sup>	0.0 1.30 <sup>o</sup>	0.05	0.04	Cu=0.2 0 para Gr. I	1 - si se especifica Cu
A-514	6 325 7 030	7 030 9 140	Placa	Estructuras soldadas.	0.32 0 0.2 <sup>o</sup>	1.30 0.80 1.50 <sup>o</sup> C	0.15 0.90 <sup>o</sup>	0.04	0.035	varios elementos	2 - 4 <sup>c</sup>
A-709	3 165 3 520	4 570 4 920	Placa	Puentes. Hay tres niveles de resistencia: resistencia a la corrosión, resistencia a la corrosión incrementada y requisitos estrictos en la prueba de impacto.							

Notas:

$F_y$  esfuerzo de fluencia o límite inferior de fluencia del material.

$F_u$  esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión.

- a** Para aceros fabricados según las normas del Comité de Registro Naval (LLOYD), Bufete Naval Americano (ABS), Instituto Americano del Petróleo (API), Sociedad de Ingenieros de la Industria Automotriz (SAE), Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) y el Estandar Británico (BS), se recomienda consultar a Altos Hornos de México (AHMSA). Información sujeta a modificaciones, de acuerdo con la fabricación de nuevos aceros estructurales. Se recomienda consultar la última edición de las normas DGN-NOM o el catálogo de Normas Nacionales del Comité Consultivo de Normalización de la Industria Siderúrgica Nacional (CCISN), de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero. (CANACERO, Amores 338, Col. del Valle, 03100 México, D.F.)
- b** Varía de acuerdo con el espesor y grado.
- c** Varía según el grado o tipo.
- d** Esta norma no tiene correspondencia con ninguna norma internacional.
- e** Comparada con el acero al carbono, sin cobre.

Tabla 5 Normas oficiales mexicanas (NMX) y especificaciones ASTM para materiales utilizados en la construcción en acero.

Material	Normas		Título de las normas	
	NOM	ASTM	DGN-NMX	ASTM
Aceros fundidos	B 352 Gr. 65-35	A27 Gr. 65-35	Piezas coladas de acero al carbono de baja y mediana resistencia para aplicación general.	Mild-to-medium-strength Carbon-steel Castings for General Applications.
	B 353 Gr. 80-50	A148 Gr. 80-50	Piezas coladas de acero de alta resistencia para uso estructural.	High-strength Steel Castings for Structural Purposes.
Aceros forjados		A668	Aceros forjados al carbono y de aleación para uso industrial general.	Steel Forgings Carbon and Alloy for General Industrial Use.
Remaches		A502	Remaches de acero estructural.	Steel Structural Rivets.
Tornillos, arandelas y tuercas	H-118**	A307	Tornillos y espárragos de acero al carbono con resistencia a la tensión de 60 ksi.	Carbon Steel Bolts and Studs, 60 ksi Tensile Strength.
	H-124**	A325	Tornillos de alta resistencia para uniones de acero estructural.	High-strength Bolts for Structural Steel Joints.
		A449	Tornillos y espárragos de acero templado y endurecido.	Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs.
	H-123**	A490	Tornillos de acero estructural con tratamiento térmico, con resistencia mínima a la tensión de 150 ksi.	Heat-treated Steel Structural Bolts, 150 ksi Min. tensile Strength.
		A563	Tuercas de acero de aleación, y al carbono.	Carbon and Alloy Steel Nuts.
	F436	Arandelas de acero endurecidas.	Hardened Steel Washers.	
Pernos de anclaje y barras roscadas		A36	Acero estructural.	Structural Steel.
		A194 Gr. 7	Tuercas de acero al carbono de aleación y al carbono para tornillos de alta presión y elevada temperatura de servicio.	Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High-pressure and High-temperature Service.
		A354	Tornillos de acero de aleación, templados y revenidos, espárragos y otros sujetadores, roscados externamente.	Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs and other Externally Threaded Fasteners.
		A449	Tornillos y espárragos de acero templado y endurecido.	Quenched and tempered Steel Bolts and Studs.
		A588	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación con límite de fluencia mínimo de 50 ksi y con un espesor máximo de 4 pulg.	High-strength Low-alloy Structural Steel with 50 ksi minimum Yield Point to 4 in. Thick.
		A687	Tornillos y espárragos de acero de alta resistencia, sin cabeza.	High-strength Non-headed Steel Bolts and Studs.

Notas:

NOM: Norma Oficial Mexicana.

ASTM: American Society of Testing Materials (Sociedad Americana para Ensayes y Materiales).

Para aceros fabricados según las normas del Comité de Registro Naval (LLOYD), Bufete Naval Americano (ABS), Instituto Americano del Petróleo (API), Sociedad de Ingenieros de la Industria Automotriz (SAE), Instituto Americano del Hierro y el Acero. (AISI), y Estandar Británico (BS), se recomienda consultar a Altos Hornos de México (AHMSA). Véase Manual AHMSA para construcción con acero, (Manual AHMSA-1996).

Tabla 5 Normas oficiales mexicanas (NMX) y especificaciones ASTM para materiales utilizados en la construcción en acero.

Material	Normas		Título de las normas	
	NOM	ASTM	DGN-NMX	ASTM
Metales de aportación y fundentes para soldadura	H 77	AWS A5.1	Electrodos de acero al carbono, recubiertos, para soldadura por arco eléctrico.	Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes.
	H 86	AWS A5.5	Electrodos de acero de baja aleación, recubiertos, para soldadura por arco eléctrico.	Specification for Low-alloy Steel Covered Arc Welding Electrodes.
	H 97	AWS A5.17	Electrodos desnudos de acero al bajo carbono y fundentes para soldadura de arco sumergido.	Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged-Arc Welding.
	H 99	AWS A5.18	Metales de aporte de acero al carbono para soldadura por arco protegido con gas.	Specification for Carbon Steel Filler Metals for Gas-Shielded Arc Welding.
		AWS A5.20	Electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con electrodo tubular continuo.	Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux-Cored Arc Welding.
		AWS A5.23	Electrodos desnudos de acero de baja aleación y fundentes para soldadura de arco sumergido.	Specification for Low-alloy Steel Electrodes and Fluxes for Submerged arc Welding.
		AWS A5.28	Metales de aporte de acero de baja aleación para soldadura por arco protegido con gas.	Specification for Low-alloy Steel Filler Metals for Gas-shielded Arc Welding.
AWS A5.29	Electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con electrodo tubular continuo.	Specification for Low-alloy Steel Electrodes for Flux-cored Arc Welding.		

Notas:

NOM: Norma Oficial Mexicana.

ASTM: American Society of Testing Materials (Sociedad Americana para Ensayes y Materiales)

AWS: Sociedad Americana de la Soldadura.

Para aceros fabricados según las normas del Comité de Registro Naval (LLOYD), Bufete Naval Americano (ABS), Instituto Americano del Petróleo (API), Sociedad de Ingenieros de la Industria Automotriz (SAE), Instituto Americano del Hierro y el Acero. (AISI), y Estandard Británico (BS), se recomienda consultar a Altos Hornos de México (AHMSA).