

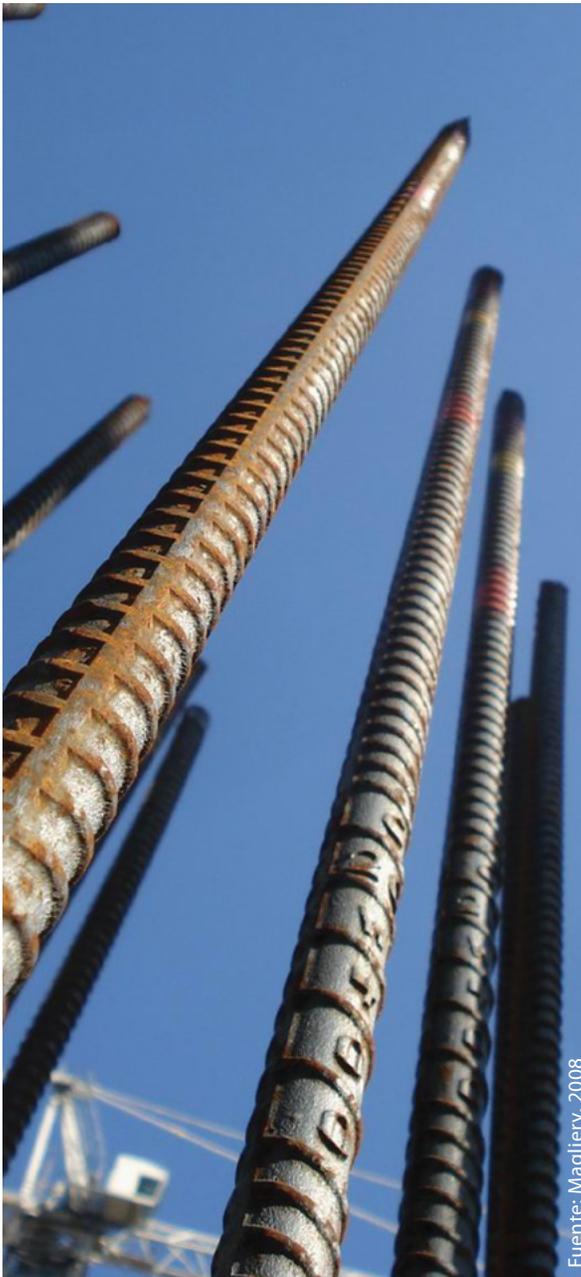


Barras de acero corrugadas y lisas para refuerzo de elementos de concreto estructural en Costa Rica

Diana Sanabria Barboza, Asistente de Ingeniería
Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD, Coordinador

Programa de Ingeniería Estructural

Correo electrónico: rolando.castillo@ucr.ac.cr



Fuente: Magliery, 2008

1. Introducción

El objetivo de este boletín es ofrecer un resumen de los requisitos mínimos que deben cumplir las barras de acero lisas y corrugadas para la construcción de elementos de concreto reforzado en Costa Rica. Estos requisitos se extraen de cuatro documentos de aplicación obligatoria en el país los cuales se presentan a continuación.

- Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-10).
- Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (2013).
- Normativa costarricense publicada por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO):
 - > INTE 06-09-01:2014: Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto.
 - > INTE 06-09-02:2014: Barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas para refuerzo de concreto.

También se investigaron otras normativas a las cuales se hace referencia en las cuatro publicaciones antes mencionadas. Estos documentos son:

- Normativa estadounidense ASTM A615/A615M y ASTM A706/A706M (de aquí en adelante se hace referencia a estas normas como ASTM A615 y ASTM A706).
- Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-08 y ACI 318-14).
- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.
- AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design.

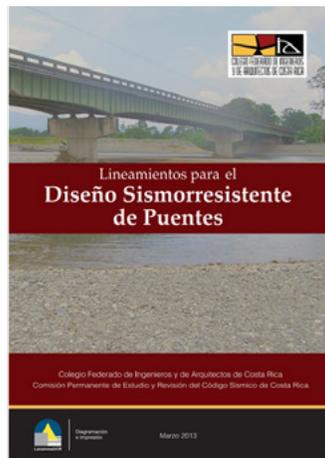


Figura 1. Normativas nacionales que regulan el uso de barras de acero para concreto estructural

La información incluida en este boletín fue usada en la preparación de la ficha técnica titulada: *Barras de acero corrugadas y lisas para refuerzo de elementos de concreto estructural en Costa Rica*, la cual incluye información práctica sobre las barras de acero. La ficha puede ser utilizada como un documento de referencia por parte de ingenieros civiles y estudiantes.

2. Requisitos del Código Sísmico de Costa Rica 2010

El Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-10) especifica en el *Capítulo 8 - Requisitos para Concreto Estructural* los requerimientos que deben cumplir las barras de acero corrugadas y lisas:

Artículo 8.1.1 – Requisitos Generales. Los elementos estructurales de concreto reforzado deben cumplir con las especificaciones del Comité 318 del American Concrete Institute (código ACI 318-08), excepto en lo referente a su capítulo Estructuras Sismorresistentes que es sustituido por el Capítulo 8.

Artículo 8.1.2 – Resistencia de los materiales. En esta sección se indica lo siguiente:

- El acero de refuerzo debe cumplir la norma ASTM A706.
- Se permite el uso de acero de refuerzo grado 280 [40] y grado 420 [60] que cumpla con la norma ASTM A615 si:
 - > el esfuerzo real de cedencia no sobrepasa el esfuerzo especificado en más de 1 250 kg/cm² (125 MPa) y
 - > la relación de la resistencia última a la tracción al esfuerzo de cedencia real no es inferior a 1,25.

Sin embargo, la Asamblea de Representantes del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) aprobó el 29 de abril del 2014 varias modificaciones al CSCR-10, entre estas se incluyó la reforma al contenido del Artículo 8.1.2 antes mencionado. El nuevo artículo establece los requisitos mínimos que deben cumplir las barras de acero según el elemento estructural. Estos requisitos se presentan de forma tabulada en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Requisitos para barras de acero según el elemento estructural (modificación del Artículo 8.1.2 del CSCR-10)

Elementos estructurales de concreto	Normativa que deben cumplir las barras de acero y grado requerido MPa [ksi]
<ul style="list-style-type: none"> • Refuerzo longitudinal de elementos estructurales que formen parte de sistemas sismorresistentes y requieran ductilidad local óptima*. • Refuerzo transversal de los muros estructurales y segmentos de muro que requieran ductilidad local óptima*. 	<p style="text-align: center;">ASTM A706 en grado 420 [60]</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Elementos estructurales que forman parte de sistemas sismorresistentes y requieran ductilidad local moderada**. • Aros y ganchos de cualquier elemento estructural. 	<p style="text-align: center;">ASTM A706 en grado 420 [60]</p> <p style="text-align: center;">ASTM A615 en grados 280 [40] o 420 [60]</p>

* Ductilidad local óptima: pertenecen a esta clasificación los elementos de concreto reforzado, de mampostería y de acero diseñados y detallados conforme a los requisitos para ductilidad local óptima de los capítulos 8, 9 y 10, así como los elementos, componentes y uniones de estos u otros materiales estructurales que, en pruebas experimentales, demuestren ser capaces de resistir deformaciones cíclicas correspondientes a razones de deriva de 0.030 o más sin que su capacidad se reduzca a menos del 80% de su capacidad máxima (CSCR,2010).

** Ductilidad local moderada: son los elementos, componentes y uniones dúctiles de concreto, mampostería, acero y madera que cumplen con los requisitos mínimos especificados en los capítulos 8, 9, 10 y 11 (CSCR,2010).

En el Cuadro 1 se observa que en Costa Rica solo se permite el uso de acero grado 280 [40] y grado 420 [60] según ASTM 615 y grado 420 [60] según ASTM 706 para elementos estructurales. Sin embargo, estas mismas normas permiten la fabricación de aceros con otros grados tales como 520 [75], 550 [80] y 690 [100] según ASTM 615 y 550 [80] según ASTM 706. Por lo tanto, se concluye que estos otros grados de acero se podrían utilizar en sistemas y componentes no estructurales.

Es importante notar que el CSCR-10 sólo hace referencia a las normas estadounidenses ASTM A615 y ASTM A706 y no hace mención a las normas nacionales equivalentes publicadas por INTECO: INTE 06-09-01:2014 e INTE 06-09-02:2014, respectivamente, las cuales se describen más adelante. Se considera que esto debería ser modificado.

3. Requisitos de los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (2013)

Los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes indican lo siguiente en el *Capítulo 1 – Filosofía y objetivos*:

Artículo 1.4 – Especificaciones y publicaciones a utilizar. El diseño y la rehabilitación sismorresistente de puentes en Costa Rica deben satisfacer los requisitos incluidos en las especificaciones, la guía o los manuales que se indican a continuación, excepto donde sean modificados por disposiciones incluidas en este documento.

Para el diseño de puentes vehiculares nuevos:

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Sixth Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2012.
- AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011.

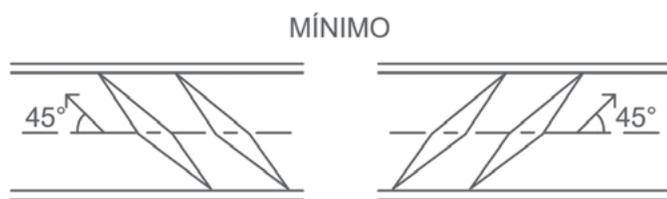
Más adelante se presenta un resumen de los requerimientos mínimos incluidos en estas dos publicaciones.

4. Requisitos del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO)

INTECO es el organismo nacional de normalización, según la Ley 8279 del año 2002, por lo cual en Costa Rica rigen las siguientes normas nacionales en materia de barras de acero:

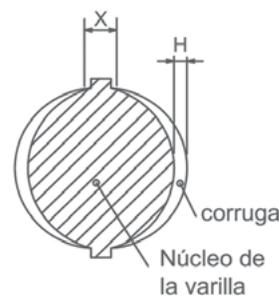
- INTE 06-09-01:2014 - Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto - Requisitos.
- INTE 06-09-02:2014 - Barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas para refuerzo de concreto - Requisitos.

En la introducción de ambas normas se aclara que estas son parcialmente equivalentes a las normas ASTM A615 y A706, respectivamente.



(a) Medición del ángulo de corrugaciones

Sección A-A
Perpendicular a la barra



donde:

X = Cota del espacio sin corruga
H = Altura máxima de la corruga

(b) Sección transversal típica de las barras

Figura 2. Ilustraciones incluidas en la norma INTE 06-09-01:2014, las cuales no aparecen en la norma ASTM A615

Fuente: INTECO, 2014a

Entre las similitudes que tienen las normas INTECO y ASTM se encuentra el contenido relacionado con el objeto y campo de aplicación, información sobre el dimensionamiento de barras, normas de referencia, definiciones, información de la orden de compra, materiales y fabricación, composición química, requisitos para corrugaciones y su medición, requisitos de tracción, requisitos de doblaje, variación admisible en la masa, acabado, además de especificaciones en cuanto a especímenes de ensayo, número de ensayos y reensayos, informes de ensayo, etiquetado y marcado.

Las diferencias entre las normas INTECO y ASTM según se indica en la introducción de las normas INTECO son:

- En las normas de INTECO se omitieron los artículos de inspección, certificación y palabras claves incluidos en las normas ASTM A615 y ASTM A706, debido a que no se consideraron pertinentes para las normas nacionales ya que estas se concentran únicamente en los requisitos del producto.
- En las normas de INTECO se eliminó el Anexo A incluido en las normas ASTM respectivas ya que contiene un dimensionamiento de barras alternativo que no es práctico para el mercado costarricense.
- En la norma INTE 06-09-01:2014 se incluyen las Figuras 1 y 2 para mayor comprensión del usuario, las cuales no aparecen en la norma ASTM A615. Estas figuras se muestran en la Figura 2.

5. Propiedades de las barras de acero según las normas ASTM A615 y ASTM A706

5.1 Generalidades

La norma ASTM A615 - *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement* brinda las especificaciones mínimas de las barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto estructural.

Los aceros al carbono fabricados según la norma ASTM A615 presentan propiedades particulares producto de variaciones en el contenido del elemento carbono. Las variaciones de carbono afectan las propiedades mecánicas del acero. Por ejemplo, un aumento en el contenido de carbono conduce a una mayor dureza y resistencia a la tensión (Total Materia, 2001).

La norma ASTM A706 - *Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement* especifica

los requisitos mínimos para las barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas, las cuales se destinan a aplicaciones donde se requiera propiedades de tracción controladas según se explica más adelante y para aumentar la soldabilidad.

Los aceros de baja aleación fabricados según la norma ASTM 706 contienen otros elementos además de carbono que permiten modificar sus propiedades mecánicas. Al añadir cantidades limitadas de elementos de aleación es posible generar una resistencia específica a la fluencia o producir barras de acero con mejor soldabilidad. Entre los elementos químicos que se añaden como aleación se pueden mencionar: cromo, cobalto, columbio (niobio), molibdeno, níquel, titanio, tungsteno, vanadio o circonio (Total Materia, 2001).

A continuación se presenta información sobre las propiedades principales de las barras de acero.

5.2 Dimensionamiento de las barras

El Cuadro 2 presenta la designación de barras, masa nominal y dimensiones nominales de barras de acero elaboradas según las normas ASTM A615 y ASTM A706.

Cuadro 2. Número de designación de barras corrugadas y lisas, masa nominal y dimensiones nominales

Fuentes: ASTM, 2015a; ASTM, 2015b; INTECO, 2014a; INTECO, 2014b
Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Designación de barra	Masa nominal	Dimensiones nominales *	
		Diámetro	Sección transversal
N°	kg/m [lb/ft]	mm [in]	mm ² [in ²]
10 [3]	0,560 [0,376]	9,5 [0,375]	71 [0,11]
13 [4]	0,994 [0,668]	12,7 [0,500]	129 [0,20]
16 [5]	1,552 [1,043]	15,9 [0,625]	199 [0,31]
19 [6]	2,235 [1,502]	19,1 [0,750]	284 [0,44]
22 [7]	3,042 [2,044]	22,2 [0,875]	387 [0,60]
25 [8]	3,973 [2,670]	25,4 [1,000]	510 [0,79]
29 [9]	5,060 [3,400]	28,7 [1,128]	645 [1,00]
32 [10]	6,404 [4,303]	32,3 [1,270]	819 [1,27]
36 [11]	7,907 [5,313]	35,8 [1,410]	1006 [1,56]
43 [14]	11,38 [7,65]	43,0 [1,693]	1452 [2,25]
57 [18]	20,24 [13,60]	57,3 [2,257]	2581 [4,00]
64 [20]**	24,84 [16,69]	63,5 [2,500]	3167 [4,91]

* Las dimensiones nominales de una barra corrugada son equivalentes a aquellas de una barra redonda lisa que tiene la misma masa por metro de la barra corrugada.

** Esta designación de barra únicamente está incluida en la norma ASTM A615.

5.3 Grados de acero de barras

El Cuadro 3 muestra los límites mínimos de fluencia y el grado de las barras fabricadas bajo las normas ASTM A615 y ASTM A706.

Cuadro 3. Límites de fluencia mínimos para las barras de acero fabricadas según las normas ASTM A615 y ASTM A706

Grados	Grado 280 [40]	Grado 420 [60]	Grado 520 [75]	Grado 550 [80]	Grado 690 [100]
Límite de fluencia mínimo MPa [ksi]	280 [40]	420 [60]	520 [75]	550 [80]	690 [100]
Norma ASTM A615	X	X	X	X	X
Norma ASTM A706		X		X	

5.4 Requisitos de tracción para barras

En el Cuadro 4 se presentan los requisitos de resistencia mínima a la tracción, esfuerzo de fluencia mínimo y porcentaje de elongación mínimo para las barras de acero, ya sea lisas o corrugadas, producidas bajo la norma ASTM A615.

Cuadro 4. Requisitos de tracción y porcentaje de elongación mínimo para barras de acero al carbono según la norma ASTM A615

Fuentes: ASTM, 2015a; INTECO, 2014a

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

	Grados MPa [ksi]				
	280 [40]*	420 [60]	520 [75]	550 [80]	690 [100]
Resistencia mínima a la tracción (f_u) MPa [ksi]	420 [60]	620 [90]	690 [100]	725 [105]	790 [115]
Esfuerzo de fluencia mínimo ($f_{y\min}$) MPa [ksi]	280 [40]	420 [60]	520 [75]	550 [80]	690 [100]
Relación resistencia mínima a la tracción / esfuerzo de fluencia mínimo ($f_u/f_{y\min}$)	1,71	1,48	1,33	1,32	1,14

Designación de barra, N°	Elongación en 200 mm, porcentaje mínimo				
	10 [3]	11	9	7	7
13, 16 [4, 5]	12	9	7	7	7
19 [6]	12	9	7	7	7
22, 25 [7, 8]	-	8	7	7	7
29, 32, 36 [9, 10, 11]	-	7	6	6	6
43, 57, 64 [14, 18, 20]	-	7	6	6	6

* Las barras de Grado 280 [40] sólo son suministradas en tamaños de 10 [3] a 19 [6].

En el Cuadro 5 se presentan los requisitos de resistencia mínima a la tracción, esfuerzo de fluencia mínimo y porcentaje de elongación mínimo para las barras de acero lisas y corrugadas producidas bajo la norma ASTM A706.

Al comparar los datos de los Cuadros 4 y 5 para los mismos grados (grados 420 [60] y 550 [80]) se observa que la relación, resistencia mínima a la tracción/esfuerzo de fluencia mínimo ($f_u/f_{y\min}$), resulta ser inferior para las barras fabricadas según la norma ASTM A706 que para las barras fabricadas según la norma ASTM A615. Además estas relaciones se reducen conforme aumenta el grado del acero. Dichas resistencias mínimas se representan en la Figura 3.

Adicionalmente, los Cuadros 4 y 5 muestran que los porcentajes de elongación son mayores para las barras fabricadas según la norma ASTM A706 lo cual es un indicador de que las barras poseen una mayor ductilidad. Por lo tanto, se concluye que las barras de acero fabricadas bajo la norma ASTM A706 son más dúctiles que las barras fabricadas bajo la norma ASTM A615.

Cuadro 5. Requisitos de tracción y porcentaje de elongación mínimo para barras de acero de baja aleación según la norma ASTM A706

Fuentes: ASTM, 2015b; INTECO, 2014b

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

	Grados MPa [ksi]	
	420 [60]	550 [80]
Resistencia mínima a la tracción MPa [ksi] (f_u)	550 [80]*	690 [100]*
Esfuerzo de fluencia mínimo MPa [ksi] ($f_{y\min}$)	420 [60]	550 [80]
Esfuerzo de fluencia, máximo MPa [ksi] ($f_{y\max}$)	540 [78]	675 [98]
Relación resistencia mínima a la tracción / esfuerzo de fluencia mínimo ($f_u/f_{y\min}$)	1,31	1,25

Designación de barra, N°	Elongación en 200 mm, porcentaje mínimo	
	10, 13, 16, 19 [3, 4, 5, 6]	14
22, 25, 29, 32, 36 [7, 8, 9, 10, 11]	12	12
43, 57 [14, 18]	10	10

* La resistencia a la tracción real no debe ser menor que 1,25 veces el límite de fluencia real.

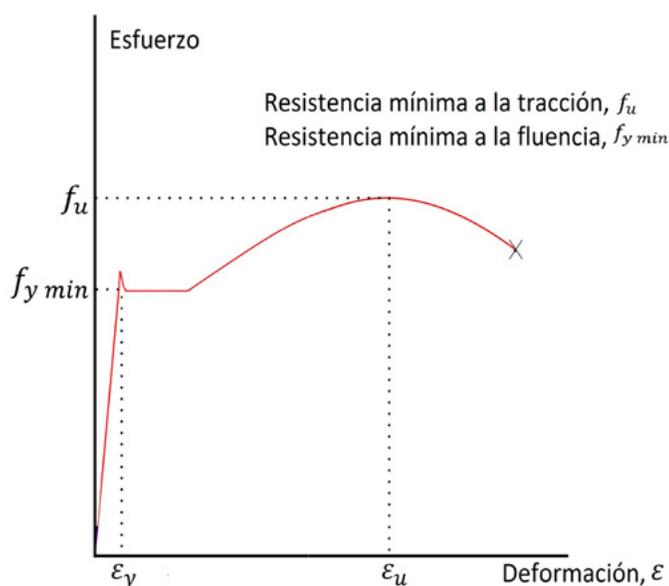


Figura 3. Curva esfuerzo - deformación típica del acero estructural

Fuente: Richfield, 2009 Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

5.5 Composición química de las barras

La especificación ASTM A615 indica los requisitos para la composición química de barras de acero al carbono:

- El fabricante debe realizar un análisis de cada colada de acero para determinar el porcentaje de los elementos carbono, manganeso, fósforo y azufre como se muestra en el Cuadro 6.

- El contenido de fósforo de cada colada de acero no debe exceder 0,06%.
- El contenido de fósforo de barras terminadas no debe exceder un 0,075%.

Este límite máximo se requiere porque el fósforo aumenta la resistencia a la tensión del acero pero reduce su ductilidad (Total Materia, 2007).

Es necesario aclarar que la norma ASTM A615 no indica porcentajes máximos para los elementos carbono, manganeso y azufre según se muestra en el Cuadro 6. Sin embargo está implícito que el contenido de estos elementos debería ser definido por el fabricante con el fin de alcanzar los requisitos de tracción indicados en el Cuadro 4 y de doblez de barras que se incluyen en dicha norma.

La norma ASTM A706 indica los requisitos para la composición química de barras de acero de baja aleación:

- El fabricante debe analizar cada colada de acero para determinar el porcentaje de los elementos carbono, manganeso, fósforo, azufre, silicio, cobre, níquel, cromo, molibdeno, y vanadio.
- La composición química mostrada por el análisis de la colada y por el análisis de verificación de barras terminadas no debe exceder los porcentajes mostrados en el Cuadro 6 para los elementos carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio. Estos porcentajes máximos garantizan la soldabilidad de las barras (CRSI, 2003).

Cuadro 6. Contenido máximo de los elementos químicos establecidos para barras de acero fabricadas según las normas ASTM A615 y ASTM A706

Fuente: CRSI, 2003

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Norma	Requisito	Elemento									
		Carbono (C)	Manganeso (Mn)	Fósforo (P)	Azufre (S)	Silicio (Si)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdeno (Mb)	Vanadio (V)
ASTM A615	1. Análisis de cada elemento por colada de acero	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-
	2. Máximo contenido permitido por colada de acero	-	-	0,06%	-	-	-	-	-	-	-
	3. Máximo contenido permitido en una barra terminada	-	-	0,075%	-	-	-	-	-	-	-
ASTM A706	1. Análisis de cada elemento por colada de acero	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	2. Máximo contenido permitido por colada de acero	0,30%	1,50%	0,035%	0,045%	0,50%	A definir por el fabricante				
	3. Máximo contenido permitido en una barra terminada	0,33%	1,56%	0,043%	0,053%	0,55%	A definir por el fabricante				

- El fabricante debe elegir los elementos de aleación. Los elementos más comúnmente utilizados son manganeso, silicio, cobre, níquel, cromo, molibdeno, vanadio, columbio (niobio), titanio y circonio. Los elementos elegidos deben ser combinados con carbono, fósforo, y azufre para obtener los requisitos de tracción del Cuadro 5 y doblez de barras que se indican en la norma.
- Un requisito adicional a cumplir es el límite de carbono equivalente (C.E). Este parámetro contabiliza el contenido de aquellos elementos químicos que afectan la soldabilidad (CRSI, 2003) y se obtiene a través de una fórmula que incluye como variables los porcentajes de carbono, manganeso, cobre, níquel, cromo, molibdeno y vanadio. El carbono equivalente se limita a un valor máximo de 0,55%.

5.6 Soldabilidad de la barras de acero

La norma ASTM A615 indica que sí se pueden soldar las barras pero no incluye requisitos específicos para mejorar su soldabilidad. Únicamente señala que la soldabilidad del material debe ser abordada con cuidado.

Por otro lado, la norma ASTM A706 limita la composición química y el carbono equivalente para aumentar la soldabilidad del material, como se detalló anteriormente.

Ambas normas indican que debería usarse un procedimiento de soldadura adecuado según la composición química del acero y el uso o servicio previsto. Para ello, se recomienda utilizar como referencia la última edición de la norma AWS D1.4/D1.4M: Structural Welding Code - Reinforcing Steel.

5.7 Informes de ensayo

Cuando se solicitan ensayos de barras de acero, se debe reportar la información que se detalla en el Cuadro 7 por cada colada de acero:

Cuadro 7. Contenido de informes de ensayo según las normas ASTM A615 y ASTM A706

Norma ASTM A615	Norma ASTM A706
<ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico, incluyendo porcentajes de carbono, manganeso, fósforo y azufre. • Propiedades de tracción. • Resultados del ensayo de doblez. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico, incluyendo porcentajes de carbono, manganeso, fósforo, azufre, silicio, cobre, níquel, cromo, molibdeno y vanadio. • Carbono equivalente. • Propiedades de tracción. • Resultados del ensayo de doblez.

Las empresas nacionales proveedoras de barras de acero lisas y corrugadas deben garantizar la calidad y conformidad del producto con respecto a las normativas vigentes mediante certificados de calidad sustentados en ensayos que ellos mismos realizan. Sin embargo, es recomendable que laboratorios externos debidamente acreditados realicen ensayos de verificación de las propiedades de las barras de acero, según las condiciones establecidas en las normas INTE 06-09-01:2014 e INTE 06-09-02:2014.

5.8 Identificación de barras

Todas las barras deformadas producidas según las normas ASTM A615 y ASTM A706 deben ser identificadas por un conjunto de marcas legibles grabadas sobre la superficie de la barra en el orden que se muestra en la Figura 4. Las marcas de identificación que deben mostrar las barras deformadas son:

- Punto de origen: letra o símbolo establecido como la designación del fabricante.
- Designación de tamaño: número arábigo correspondiente al número de designación de barra, según el Cuadro 2.
- Tipo de acero: la letra S indica que la barra fue producida según la norma ASTM A615, la letra W indica que fue producida según la norma ASTM A706. Las barras de acero grado 420 [60] y grado 550 [80] pueden ser fabricadas según los requisitos de ambas normas (ver Cuadro 3). Si estas barras cumplen con los requisitos de ambas normas se identifican con las letras SW o WS. Esto significa que las propiedades de las barras (composición química, requisitos de corrugaciones y doblez, requisitos de tracción, etc.) cumplen con los requisitos establecidos tanto en la norma ASTM A615 como en la norma ASTM A706.
- Esfuerzo mínimo de fluencia:
 - > Grado 280 [40], no es requerida una marca sobre las barras, se permite un 2 [40].
 - > Grado 420 [60], se marca un 4, 60 o una línea longitudinal continua individual a través de al menos de cinco espacios desplazados desde el centro del lado de la barra.
 - > Grado 520 [75], se marca un 5, 75 o dos líneas longitudinales con las características ya descritas (ver Figura 4).
 - > Grado 550 [80], se marca un 6, 80 o tres líneas longitudinales con las características anteriores.
 - > Grado 690 [100], se marca un 7, 100 o cuatro líneas continuas longitudinales a través de al menos cinco espacios, o la letra C.

En la siguiente Figura 4 se muestra un ejemplo de identificación para una barra grado 520 [75] según el sistema internacional de unidades y el sistema de unidades estadounidense.

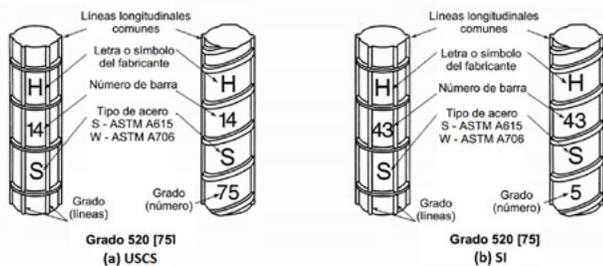


Figura 4. Ejemplo de identificación de barras utilizando el sistema de unidades estadounidense USCS y el sistema internacional de unidades SI de una barra grado 520 [75] según las normas ASTM A615 y ASTM A706

Fuente: CRSI, 2003 Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

En la Figura 5 se presenta la identificación de barras de acero corrugadas de la empresa ArcelorMittal Costa Rica según se indica en su catálogo. Se puede apreciar que cumple con las marcas requeridas y añade una marca sobre el país de origen.



Figura 5. Identificación de una barra grado 420 [60] según la empresa ArcelorMittal

Fuente: ArcelorMittal, s.f. Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Para las barras de acero lisas fabricadas según las normas ASTM A615 y ASTM A706 no aplican los anteriores requisitos de demarcación. Ambas normas indican que las barras lisas sólo deben etiquetarse según su grado.

6. ACI 318-08: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural

Como se mencionó anteriormente, el CSCR-10 especifica en su Artículo 8.1.1 que los elementos estructurales deben cumplir con las especificaciones del código ACI 318-08, excepto en lo referente a su capítulo 21 Estructuras sismorresistentes que es sustituido por el Capítulo 8 del CSCR-10.

En el Capítulo 3 – Materiales, Artículo 3.5 – Acero de refuerzo del ACI 318-08 se presentan los siguientes requisitos referentes a barras de acero lisas y corrugadas.

- Las barras de acero deben ser corrugadas excepto cuando se usan en espirales, en este caso pueden usarse barras lisas.
- La soldadura de barras de refuerzo debe realizarse de acuerdo con las disposiciones del AWS D1.4 Welding Code.
- Las barras de refuerzo corrugadas deben cumplir con los requisitos para barras corrugadas de las normas ASTM A615 o ASTM A706.
- Para barras con f_y mayor que 420 MPa [60 ksi], la resistencia a la fluencia debe tomarse como el esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0,35%.
- Las barras lisas usadas en espirales deben cumplir con las normas ASTM A615 o ASTM A706.

Considerando que el reglamento ACI 318-08 es un documento desactualizado debido a que existe una versión más reciente, en la siguiente sección se presentan los requisitos incluidos en el reglamento más reciente ACI 318-14.

7. ACI 318-14: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural

En el Capítulo 20 – Refuerzo de acero, propiedades, durabilidad y embebidos del código ACI 318-14 se incluyen los siguientes requisitos para barras de acero lisas y corrugadas.

Artículo 20.2.1 – Barras y alambres no preesforzados: propiedades de los materiales.

- Las barras y alambres no preesforzados deben ser corrugadas, excepto las barras lisas o alambres que se permiten para ser utilizados en espirales.
- Las barras corrugadas y las barras lisas para refuerzo en espiral deben cumplir con las siguientes normas:

- > ASTM A615 - acero al carbono
- > ASTM A706 - acero de baja aleación

Artículo 20.2.2 – Barras y alambres no preesforzados: propiedades de diseño.

- Para barras y alambres no preesforzados, el esfuerzo en el acero menor a f_y , es decir f_s debe tomarse como $E_s \epsilon_s$ veces la deformación unitaria del acero ϵ_s donde $\epsilon_s < \epsilon_y$. Para resistencias del acero mayores a f_y donde $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ el esfuerzo debe considerarse independiente de la deformación unitaria e igual a f_y .
- El aumento en la resistencia debido al efecto de endurecimiento por deformación del refuerzo se desprecia en los cálculos de resistencia.

- El módulo de elasticidad E_s para barras y alambres no preesforzados puede tomarse como 200 000 MPa.
- La resistencia a la fluencia de barras y alambres no preesforzados para los cálculos de diseño debe basarse en el grado de refuerzo especificado y no debe exceder los valores indicados en las tablas del Código ACI 318-14: Tabla 20.2.2.4a para barras corrugadas y Tabla 20.2.2.4b para barras lisas. Un resumen del contenido de dichas tablas se presenta en los Cuadros 8 y 9.
- Los tipos de barras y alambres de refuerzo no preesforzado deben ser especificados para aplicaciones estructurales particulares, según se indica en el Código ACI 318-14 Tablas 20.2.2.4a y Tabla 20.2.2.4b para barras corrugadas y lisas, respectivamente. Un resumen del contenido de dichas tablas se presenta en los Cuadros 8 y 9.
- Al comparar los requerimientos incluidos en el reglamento ACI 318-08 y en el reglamento más reciente ACI 318-14 se concluye que el reglamento ACI 318-14 es más estricto en cuanto a que los valores especificados de resistencia a la fluencia de las barras son valores máximos y resultan ser función del uso y la aplicación que se le quiera dar a las barras.

Cuadro 8. Resistencia a la fluencia máxima permitida para barras corrugadas según su uso y aplicación

Fuente: ACI, 2014

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Refuerzo corrugado no preesforzado		
Uso	Aplicación	Valor máximo de f_y o f_{yt} permitido para cálculos de diseño, MPa [ksi]
Flexión, fuerza axial y retracción y temperatura	Sistemas sísmicos especiales*	420 [60]
	Otro	550 [80]
Apoyo lateral de barras longitudinales o confinamiento de concreto	Sistemas sísmicos especiales*	700 [100]
	Espirales	700 [100]
	Otro	550 [80]
Cortante	Sistemas sísmicos especiales*	420 [60]
	Espirales	420 [60]
	Fricción cortante	420 [60]
	Estribos, estribos cerrados de confinamiento	550 [80]
Torsión	Longitudinal y transversal	420 [60]

* Los sistemas sísmicos especiales son pórticos especiales resistentes a momento y muros estructurales especiales, en los cuales el uso de refuerzo longitudinal con una resistencia mayor a la supuesta en el diseño conlleva a mayores esfuerzos cortantes y de adherencia cuando se desarrollan los momentos de fluencia. Estas condiciones pueden generar fallas frágiles y deben evitarse aun cuando dichas fallas puedan ocurrir a cargas mayores a las anticipadas por el diseño, por lo cual se establece un límite a la resistencia real a la fluencia del acero de refuerzo (ACI, 2014).

Cuadro 9. Resistencia a la fluencia máxima permitida para barras corrugadas según su uso y aplicación

Fuente: ACI, 2014 Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Refuerzo liso en espiral no preesforzado		
Uso	Aplicación	Valor máximo de f_y o f_{yt} permitido para cálculos de diseño, MPa [ksi]
Soporte lateral de barras longitudinales o confinamiento del concreto	Espirales en sistemas sísmicos especiales	700 [100]
	Espirales	700 [100]
Cortante	Espirales	420 [60]
Torsión en vigas no preesforzadas	Espirales	420 [60]

8. Requisitos de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2014–7ma edición

A continuación se presenta un resumen de los requisitos para barras de acero lisas y corrugadas incluidos en el Capítulo 5 – Estructuras de concreto:

El Artículo 5.4.3 – Acero de refuerzo señala lo siguiente:

- Las barras de refuerzo deben ajustarse a los requisitos del Artículo 9.2 de AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications 2010. En dicho artículo se indica que las barras de acero, lisas o corrugadas, con o sin protección de su superficie deben cumplir con la norma ASTM A615 grado 420 [60] (a menos que se indique lo contrario en los documentos del contrato) o ASTM A706.
- Las barras de refuerzo deben ser corrugadas, pero se permite el uso de barras lisas para espirales.
- Cuando se requiera asegurar la ductilidad o cuando se requiera soldar las barras de acero se deberá especificar barras de acero conformadas bajo la norma ASTM A706.
- Para el diseño no se permite el uso de barras de acero con resistencia a la fluencia de 520 MPa (grado 520 [75]), 550 MPa (grado 550 [80]) o 690 MPa (grado 690 [100]) a menos que cumpla con el requisito indicado en el Artículo 5.4.3.3 donde se permite el uso de acero de refuerzo con resistencia a la fluencia de hasta 690 MPa [100 ksi] para elementos y conexiones en la zona sísmica 1.

- Si se considera que en el Artículo 3.3 de los Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes se indica que: "La zona de desempeño sísmico 1 y la categoría de diseño sísmico A incluidas en la especificación AASHTO LRFD y en la guía AASHTO LRFD respectivamente no son aplicables en nuestro país.", y el hecho de que la zona sísmica 1 mencionada previamente es equivalente al término de zona de desempeño sísmico 1 o Categoría de diseño sísmico A antes mencionado, se concluye que en Costa Rica no se permite utilizar barras de acero grados 520 [75] y 690 [100] en elementos de concreto estructural que forman parte del sistema sismorresistente de puentes vehiculares.

9. Requisitos de AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design 2011 – 2da edición

El Capítulo 8 – Componentes de concreto reforzado, incluye los siguientes artículos referentes a barras de acero lisas y corrugadas.

El Artículo 8.4.1 Acero de refuerzo especifica lo siguiente:

- Las barras de refuerzo deben ajustarse a lo especificado en AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.
- Se permite utilizar barras de acero fabricadas bajo las normas ASTM A615 y ASTM A706 según sea la categoría de diseño sísmico como se muestra en el Cuadro 10:

Cuadro 10. Aplicación de normas ASTM para barras de acero según la categoría de diseño sísmico

Norma ASTM	Categorías de diseño sísmico		
	B	C	D
ASTM A615, Grado 420 [60]	Sí	Sí	No
ASTM A706	Sí	Sí	Sí

El Artículo 8.4.2 Modelado del acero de refuerzo especifica lo siguiente:

- El comportamiento del acero de refuerzo debe ser modelado con una curva esfuerzo-deformación que exhiba una sección inicial elástica seguida de una meseta de fluencia y un rango de endurecimiento por deformación en el cual el esfuerzo incrementa con la deformación, como se muestra en la Figura 8.4.2-1 (Figura 6 de este documento).
- Se usarán las propiedades esperadas según se muestra en la Tabla 8.4.2-1 (Cuadro 11 de este documento) en lugar

de las propiedades especificadas para las barras de acero (**Nota:** las propiedades esperadas de la Tabla 8.4.2-1 se basan en datos recolectados por Caltrans).

- Dentro de la región elástica, el módulo de elasticidad, E_s , se tomará como 200 000 MPa [29 000 ksi].

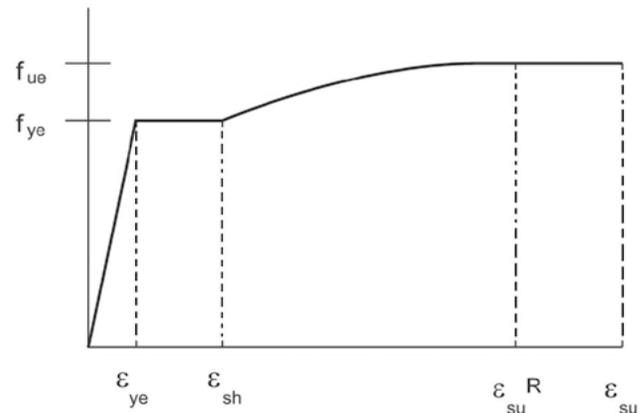


Figura 6. Modelo de curva esfuerzo – deformación para acero de refuerzo

Fuente: AASHTO, 2011

Cuadro 11. Propiedades de barras de acero de refuerzo

Fuente: AASHTO, 2011

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Propiedad	Notación	N° de barra	Norma ASTM A706	Norma ASTM A615
			Grado 420 [60]	Grado 420 [60]
Esfuerzo de fluencia mínimo especificado MPa [ksi]	f_y	10 [3] - 57 [18]	420 [60]	420 [60]
Esfuerzo de fluencia esperado MPa [ksi]	f_{ye}	10 [3] - 57 [18]	470 [68]	470 [68]
Resistencia a la tracción esperada MPa [ksi]	f_{ue}	10 [3] - 57 [18]	660 [95]	660 [95]
Deformación esperada en el límite proporcional	ϵ_{ye}	10 [3] - 57 [18]	0,0023	0,0023
Inicio del endurecimiento por deformación	ϵ_{sh}	10 [3] - 25 [8]	0,0150	0,0150
		29 [9]	0,0125	0,0125
		32 [10] y 36 [11]	0,0115	0,0115
		43 [14]	0,0075	0,0075
		57 [18]	0,0050	0,0050
Deformación última reducida	ϵ_{su}^R	13 [4] - 32 [10]	0,090	0,060
		36 [11] - 57 [18]	0,060	0,040
Deformación última	ϵ_{su}	13 [4] - 32 [10]	0,120	0,090
		36 [11] - 57 [18]	0,090	0,060

10. Mercado costarricense

En Costa Rica, ArcelorMittal es la única empresa fabricante de barras de acero. Las barras que ofrece esta compañía son producidas en el país a partir de materia prima importada (lingotes de acero).

En las Figuras 7 y 8 se presenta la disponibilidad de barras de acero corrugadas y lisas, según se indica en el Catálogo de Productos de ArcelorMittal (ArcelorMittal Costa Rica, s.f.). En esta publicación se declara que las barras corrugadas cumplen con las normas ASTM A615 y ASTM A706 y que las barras lisas se fabrican bajo la norma ASTM A615.

Varilla	Norma ASTM A-615						Norma ASTM A-706		
	Grado 40			Grado 60			Grado 60		
	6 m	9 m	12 m	6 m	9 m	12 m	6 m	9 m	12 m
3	▲	▲	▲	■	■	■	▲	▲	▲
4	▲	■	▲	■	▲	■	▲	▲	▲
5	▲	■	▲	■	▲	▲	▲	▲	▲
6	▲	■	▲	■	▲	▲	▲	▲	▲
7	■	■	■	■	■	▲	▲	■	▲
8	■	■	■	■	■	▲	▲	■	▲
9	■	■	■	■	■	▲	▲	■	▲
10	■	■	■	■	■	▲	■	■	■
11	■	■	■	■	■	▲	■	■	■

▲ Disponible en stock
■ Productos fabricados contra pedido

Figura 7. Disponibilidad de barras corrugadas de la empresa ArcelorMittal Costa Rica
Fuente: ArcelorMittal, s.f.

Las barras se comercializan en longitudes de 6 m, 9 m y 12 m, sin embargo se podrían solicitar longitudes especiales. También es posible adquirir los productos marcados contra pedido en las Figuras 7 y 8 mediante la consulta a la empresa. En la consulta se verifica si el producto que se requiere se fabricará en algún momento según su calendario de producción. Al adquirir los productos es posible solicitar un certificado de calidad expedido por la empresa (ArcelorMittal - Departamento de Asesoría Técnica Comercial, comunicación personal, 2016).

ArcelorMittal fabrica únicamente barras norma ASTM A615 en grados 280 [40] y 420 [60] y barras norma ASTM A706 en grado 550 [60]. Ellos no fabrican otros grados de acero que son permitidos en la normativa ASTM antes mencionada (ArcelorMittal - Departamento de Asesoría Técnica Comercial, comunicación personal, 2016).

Abonos Agro es una empresa comercializadora y proveedora de barras de acero en Costa Rica. Estas son importadas como productos completamente terminados y listos para la venta. En las Figuras 9 y 10 se observa la disponibilidad de barras corrugadas y lisas que ofrece esta empresa en su catálogo virtual.

Además de los diámetros que se presentan, pueden adquirirse barras corrugadas con diámetros diferentes siempre que sean acordes a las normas ASTM (ver Cuadro 2) y con un tiempo de entrega prudente, ya que deben ser importadas (Abonos Agro - Departamento de Ventas, comunicación personal, 2016).

Número Designación Varilla	Disponibilidad			
	Grado 40		Grado 60	
	6 m	12 m	6 m	12 m
3	▲	■	■	■
4	▲	■	■	■
5	▲	■	■	■
6	■	■	■	■
8	■	■	■	■

Figura 8. Disponibilidad de barras lisas de la empresa ArcelorMittal Costa Rica
Fuente: ArcelorMittal, s.f.

11. Conclusiones

Todos los documentos examinados que regulan las de barras de acero para refuerzo de concreto estructural indican que las barras deben cumplir lo establecido en las normas ASTM A615 o ASTM A706.

La norma ASTM A615 - Standard Specification for Deformed and Plain Carbon- Steel Bars for Concrete Reinforcement brinda las especificaciones mínimas de las barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto estructural.

La norma ASTM A706 - Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement especifica los requisitos mínimos para las barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas, las cuales se destinan a aplicaciones donde se requiera propiedades de tracción controladas y para aumentar la soldabilidad.

Varilla Deformada				Disponibilidad del Producto					
				Norma ASTM A615			Norma ASTM A706		
				Grado 40			Grado 60		
Número de Varilla	Díametro (pulg)	Díametro Nominal (mm)	Peso Nominal (kg/m)	6m	9m	12m	6m	9m	12m
3	3/8	9,52	0,560	•	•	•	•	•	•
4	1/2	12,70	0,994	•	•	•	•	•	•
5	5/8	15,88	1,552	•	•	•	•	•	•
6	3/4	19,05	2,235	•			•	•	•
7	7/8	22,22	3,042				•	•	•
8	1	25,40	3,973				•	•	•
9	1 1/8	28,65	5,060				•	•	•
10	1 1/4	32,36	6,404				•	•	•
11	1 3/8	35,81	7,907				•	•	•

Figura 9. Disponibilidad de barras corrugadas de la empresa Abonos Agro

Fuente: Abonos Agro, s.f.

Varilla Lisa Redonda			
Número de Varilla	Díametro (pulg)	Díametro Nominal (mm)	Peso Nominal (kg/m)
3	3/8	9,52	0,560
4	1/2	12,70	0,994
5	5/8	15,88	1,552
6	3/4	19,05	2,235
8	1	25,40	3,973

Figura 10. Disponibilidad de barras lisas, grado 280 [40] de la empresa Abonos Agro

Fuente: Abonos Agro, s.f.

Según el Artículo 8.1.2 del CSCR-10 (ver Cuadro 1), para elementos estructurales que requieran ductilidad local óptima solo se pueden utilizar barras de acero grado 420 [60] fabricadas bajo la norma ASTM A706; para los que requieran ductilidad local moderada se permite también emplear barras grado 280 [40] o 420 [60] producidas según ASTM A615. Lo estipulado no impide el uso de barras de acero de grados diferentes a los mencionados, en sistemas y componentes no estructurales.

INTECO es el organismo nacional de normalización, según la Ley 8279 del año 2002. Por lo tanto en Costa Rica rigen las normas nacionales INTE 06-09-01:2014 e INTE 06-09-02:2014 en materia de barras de acero las cuales equivalen parcialmente a las normas ASTM A615 y ASTM A706 respectivamente.

El CSCR-10 sólo hace referencia a las normas estadounidenses ASTM A615 y ASTM A706 y no hace mención de las normas nacionales INTE 06-09-01:2014 e INTE 06-09-02:2014.

Aunque las empresas nacionales proveedoras de barras de acero lisas y corrugadas garantizan la calidad y conformidad del producto con respecto a las normativas vigentes, es recomendable realizar ensayos de verificación por parte de laboratorios externos debidamente acreditados, según las condiciones establecidas en las normas INTE 06-09-01:2014 e INTE 06-09-02:2014.

No se permite utilizar barras de acero grado 520 [75] hasta grado 690 [100] o mayor para el diseño de elementos de concreto que conforman el sistema sismorresistente de los puentes vehiculares.

Los valores de resistencia a la fluencia especificados en el reglamento ACI318-14 para barras de acero son valores máximos que dependen del uso que se le quiera dar a las barras.

12. Bibliografía

- Abonos Agro. (s.f.). Catálogo de Productos. Tomado del sitio web de Abonos Agro: <http://www.abonosagro.com/home.php>
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2010). AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications. Washington DC: AASHTO
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2011). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Washington DC: AASHTO
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2014). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Washington DC: AASHTO
- American Concrete Institute - ACI Committee 318. (2008). ACI 318S-08: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- American Concrete Institute - ACI Committee 318. (2014). ACI 318S-14: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- American Society for Testing and Materials - ASTM International. (2015a). Designation A615/A615M - 15a: Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement. Barr Harbor Drive: ASTM International.
- American Society for Testing and Materials - ASTM International. (2015b). Designation A706/A706M - 15: Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement. Barr Harbor Drive: ASTM International.
- ArcelorMittal Costa Rica. (s.f.). Catálogo de Productos – Aceros largos. Tomado del sitio web de ArcelorMittal: <http://costarica.arcelormittal.com/>
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA). (2011). Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-10). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA). (2013b). Lineamientos para el diseño sismorresistente de Puentes. Tomado del sitio oficial de la Comisión Permanente de Estudio y Revisión del CSCR: <http://www.codigosismico.or.cr/>
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA). (2014). Modificaciones al Código Sísmico de Costa Rica 2010. Tomado del sitio oficial de la Comisión Permanente de Estudio y Revisión del CSCR: <http://www.codigosismico.or.cr/>
- Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI). (2003). Manual of Standard Practice. United States of America: Committee on Manual of Standard Practice.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2014a). INTE 06-09-01:2014: Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Requisitos. San José: INTECO.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2014b). INTE 06-09-02:2014: Barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Requisitos. San José: INTECO.
- Magliery, T. (2008). Rebar towers. [Fotografía]. Tomado de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/mag3737/2928886746/in/photolist-5sPiZm>
- Richfield, D. (2009). Stress vs. Strain curve for structural steel. [Ilustración]. Tomado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stress_v_strain_A36_2.svg?uselang=es
- Total Materia. (2001). Classification of Carbon and Low-Alloy Steels. Tomado de Key to MetalsAG: <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&LN=EN&site=kt s&NM=62>
- Total Materia. (2007). Effect of phosphorus on the properties of carbon steels: part one. Tomado de Key to MetalsAG: <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=211>

Diseño y Diagramación: Euro Rincón Montero, Centro de Transferencia Tecnológica

Palabras clave: Ingeniería Estructural, Barras de acero, Normativa.



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica
Programa de Ingeniería Estructural

Tel. (506) 2511-2500 / Fax (506) 2511-4440 / Código Postal 11501-2060

E-mail: direccion@lanamme.ucr.ac.cr / Sitio web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>