



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

Cuadro 1. Normativa que regula el uso de barras de acero en elementos de concreto estructural

Fuente: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Normativa nacional
<ul style="list-style-type: none"> • 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) <ul style="list-style-type: none"> › 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
Normativa internacional
<ul style="list-style-type: none"> • Normativa estadounidense ASTM A615/A615M y ASTM A706/A706M • 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

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
Nº	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]

*Dimensiones nominales. 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.

El diámetro externo de la barra es mayor al diámetro nominal (ver Figura 2).

Cuadro 3. Área total de acero según cantidad de barras (mm²)

Fuente: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Designación de barra	Cantidad de barras											
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10 [3]	71	142	213	284	355	426	497	568	639	710	781	852
13 [4]	129	258	387	516	645	774	903	1032	1161	1290	1419	1548
16 [5]	199	398	597	796	995	1194	1393	1592	1791	1990	2189	2388
19 [6]	284	568	852	1136	1420	1704	1988	2272	2556	2840	3124	3408
22 [7]	387	774	1161	1548	1935	2322	2709	3096	3483	3870	4257	4644
25 [8]	510	1020	1530	2040	2550	3060	3570	4080	4590	5100	5610	6120
29 [9]	645	1290	1935	2580	3225	3870	4515	5160	5805	6450	7095	7740
32 [10]	819	1638	2457	3276	4095	4914	5733	6552	7371	8190	9009	9828
36 [11]	1006	2012	3018	4024	5030	6036	7042	8048	9054	10060	11066	12072
43 [14]	1452	2904	4356	5808	7260	8712	10164	11616	13068	14520	15972	17424
57 [18]	2581	5162	7743	10324	12905	15486	18067	20648	23229	25810	28391	30972
20 [64]	3167	6334	9501	12668	15835	19002	22169	25336	28503	31670	34837	38004

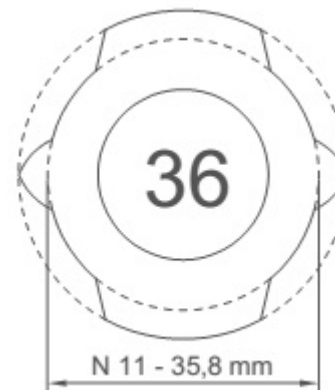
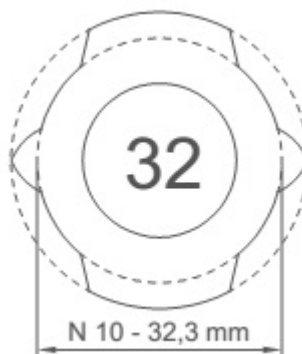
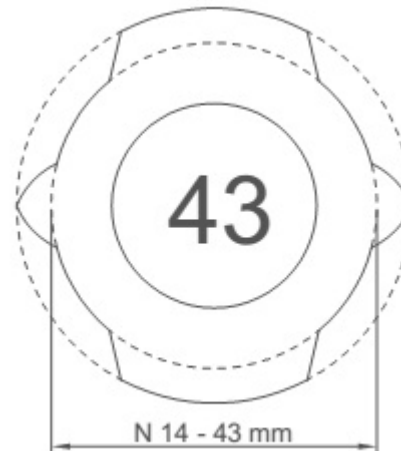
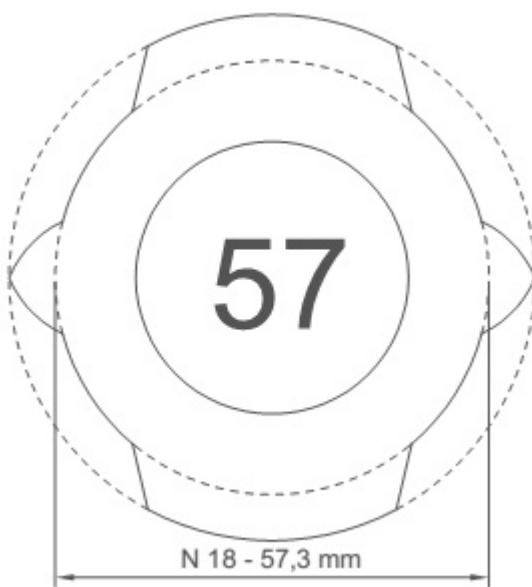
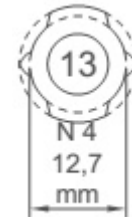
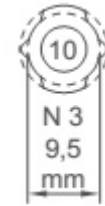


Figura 1. Diámetros nominales a escala real de las designaciones de barras norma ASTM A615 y ASTM A706

Fuente: CRSI, 2010

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

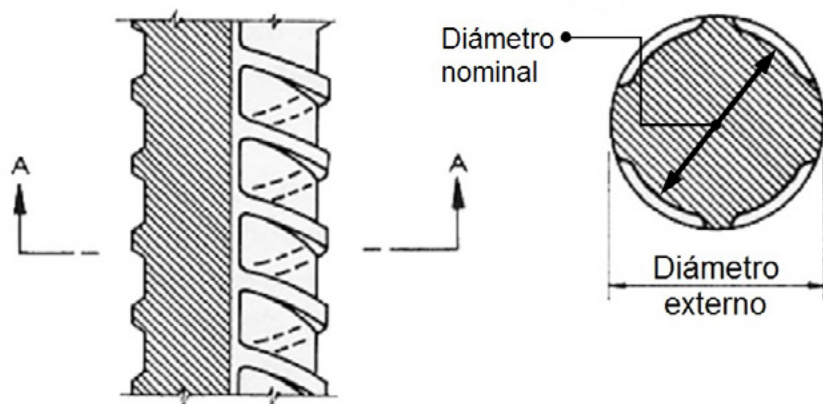


Figura 2. Sección transversal de una barra

Fuente: CRSI, 2010

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Cuadro 4. Área total de acero por metro lineal según espaciamiento entre barras (mm²/m)

Fuente: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Designación de barra	Área de barra	Espaciamiento entre barras (mm)													
		Nº	mm ²	50	100	120	150	200	250	300	350	400	450	500	550
10 [3]	71		1420	710	591	473	355	284	236	202	177	157	142	129	118
13 [4]	129		2580	1290	1075	860	645	516	430	368	322	286	258	234	215
16 [5]	199		3980	1990	1658	1326	995	796	663	568	497	442	398	361	331
19 [6]	284		5680	2840	2366	1893	1420	1136	946	811	710	631	568	516	473
22 [7]	387		7740	3870	3225	2580	1935	1548	1290	1105	967	860	774	703	645
25 [8]	510		10200	5100	4250	3400	2550	2040	1700	1457	1275	1133	1020	927	850
29 [9]	645		12900	6450	5375	4300	3225	2580	2150	1842	1612	1433	1290	1172	1075
32 [10]	819		16380	8190	6825	5460	4095	3276	2730	2340	2047	1820	1638	1489	1365
36 [11]	1006		20120	10060	8383	6706	5030	4024	3353	2874	2515	2235	2012	1829	1676
43 [14]	1452		29040	14520	12100	9680	7260	5808	4840	4148	3630	3226	2904	2640	2420
57 [18]	2581		51620	25810	21508	17206	12905	10324	8603	7374	6452	5735	5162	4692	4301
20 [64]	3167		63340	31670	26391	21113	15835	12668	10556	9048	7917	7037	6334	5758	5278

Cuadro 5. 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 MPa [ksi]	420 [60]	620 [90]	690 [100]	725 [105]	790 [115]
Esfuerzo de fluencia mínimo MPa [ksi]	280 [40]	420 [60]	520 [75]	550 [80]	690 [100]
Relación resistencia mínima a la tracción / esfuerzo de fluencia mínimo	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	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].

Cuadro 6. Requisitos de tracción y porcentaje de elongación mínimo para barras de acero de baja aleación según 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]	550 [80]*	690 [100]*
Esfuerzo de fluencia mínimo MPa [ksi]	420 [60]	550 [80]
Esfuerzo de fluencia, máximo MPa [ksi]	540 [78]	675 [98]
Relación resistencia mínima a la tracción / esfuerzo de fluencia mínimo	1,31	1,25
Designación de barra, N°	Elongación en 200 mm, porcentaje mínimo	
10, 13, 16, 19 [3, 4, 5, 6]	14	12
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.

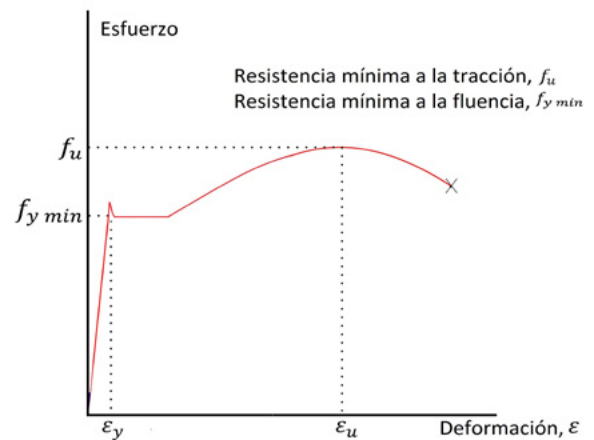


Figura 3. Curva esfuerzo – deformación típica del acero estructural

Fuente: Richfield, 2009

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Cuadro 7. Contenido máximo de elementos químicos establecidos para barras de acero 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				

Cuadro 8. Contenido de informes de ensayo según las normas ASTM A615 y ASTM A706

Fuentes: ASTM, 2015a; ASTM, 2015b; INTECO, 2014a, INTECO, 2014b

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.

Identificación de barras según las normas ASTM A615 y ASTM A706

- Punto de origen: letra o símbolo establecido como la designación del fabricante.
- Designación de tamaño
- Tipo de acero:
 - S – norma ASTM A615
 - W – 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 coloca un 4 [60] o una línea longitudinal continua
 - Grado 520 [75], se coloca un 5 [75] o dos líneas longitudinales
 - Grado 550 [80], se coloca un 6 [80] o tres líneas longitudinales
 - Grado 690 [100], se coloca un 7 [100] o cuatro líneas continuas

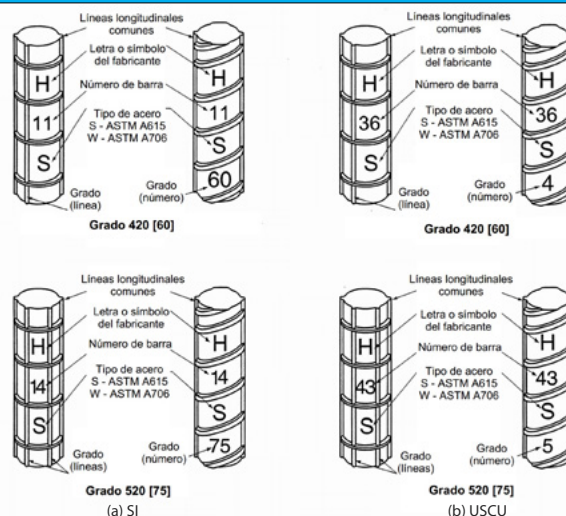


Figura 4. Ejemplo de identificación de barras grados 420 [60] y 520 [75] según las normas ASTM A615 y ASTM A706

Fuente: Fuentes: ASTM, 2015a; ASTM, 2015b; INTECO, 2014a; INTECO, 2014b; CRSI, 2003
Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Cuadro 9. Resistencia a la fluencia máxima permitida de barras corrugadas para diferentes aplicaciones según el Reglamento ACI 318-14

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 10. Resistencia a la fluencia máxima permitida de barras lisas para diferentes aplicaciones según el Reglamento ACI 318-14

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]

Cuadro 11. Normas ASTM permitidas para la fabricación de barras de acero de refuerzo para puentes en zona sísmica

Fuente: AASHTO, 2011
Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

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

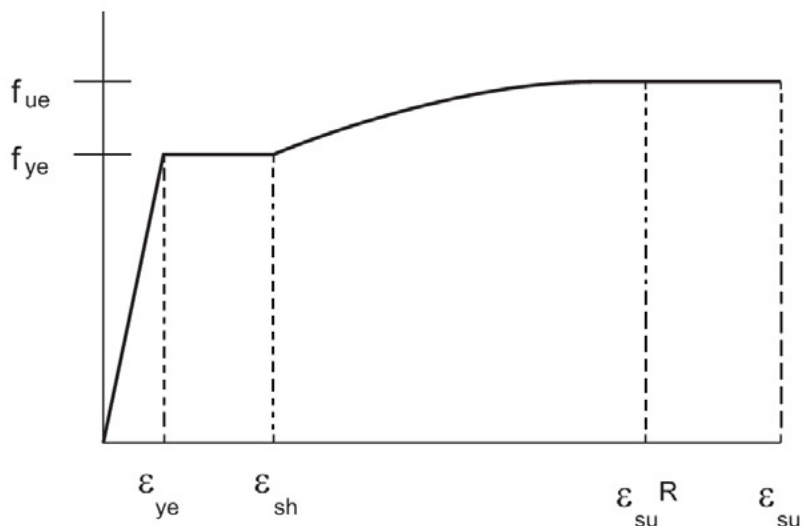


Figura 5. Modelo de curva esfuerzo – deformación para acero de refuerzo
Fuente: AASHTO, 2011

Cuadro 12. Propiedades mecánicas esperadas de barras de acero de refuerzo para puentes en zona sísmica

Fuente: AASHTO, 2011
Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

Propiedad	Notación	Nº de barra	Norma ASTM A706 Grado 420 [60]	Norma ASTM A615 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

Cuadro 13. Requisitos para barras de acero según el elemento estructural (modificación del Artículo 8.1.2 del CSCR-10)

Fuente: CSCR-10

Modificado por Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR, 2016

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.	ASTM A706 en grado 420 [60]
<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.	ASTM A706 en grado 420 [60] Se permite ASTM A615 en grados 280 [40] o 420 [60]

Bibliografía

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2011). AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design. Washington DC: AASHTO
- 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.
- 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.
- Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI). (2003). Manual of Standard Practice. United States of America: Committee on Manual of Standard Practice.
- Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI). (2010). Ready Reference. Schaumburg: 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.
- 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=kts&NM=62>

Autores: Diana Sanabria Barboza,
Ing. Rolando Castillo Barahona.



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

Versión: 04 / 2016

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>