

**CONECTORES ROSCADOS DE BARRAS DE REFUERZO
(TERCERA GENERACIÓN)**

**Carlos J Mendoza E.*
Carlos Aire Untiveros.**
Jorge A. Villegas G.***
Daniel Hernández H.***
Jorge López Roman*****

**Preparado para:
HABILITACIONES ESTRUCTURALES, S.A de C.V.**

Proy 0527

Junio 2012

* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM
** Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM
*** Becario, Instituto de Ingeniería, UNAM

1. ANTECEDENTES

Habilitaciones Estructurales solicita al Instituto de Ingeniería la evaluación preliminar del desempeño de un tipo de conector de barras de refuerzo con rosca, el cual difiere de los evaluados con anterioridad en la forma de hacer las cuerdas de los elementos de unión. Para realizar la evaluación proporcionó una muestra del producto formada por seis barras de 2.54 cm de diámetro, de aproximadamente 120cm de longitud, dos de las cuales eran barras sin conector y las otras cuatro estaban formadas por dos tramos de barras unidas con el nuevo tipo de conector que se quiere ensayar.

Los conectores ensayados en las evaluaciones previas tienen las siguientes características y desempeño:

Los conectores de primera generación se fabricaban cilindrando los extremos de las barras a unir a un diámetro menor que el nominal de la barra de refuerzo y después haciendo la cuerda mediante corte sobre el cilindro elaborado. Su principal desventaja se origina por la reducción del área de la sección transversal de la barra propiciando que el esfuerzo máximo se presentara en muchas ocasiones a niveles inferiores a 1.25 veces el esfuerzo de fluencia de la barra (f_y), además de variaciones importantes en las características dimensionales que dificultaban su unión en campo.

Los conectores de segunda generación presentan como mejora el aumento del diámetro original mediante forja en caliente a partir del cual se fabrica el cilindro base y la cuerda correspondiente mediante corte. Lo anterior permitió alcanzar esfuerzos máximos superiores a $1.25 f_y$ y en algunas ocasiones por arriba de $1.5 f_y$ al tener la sección transversal en la zona de cuerda un área superior a la nominal. Sin embargo, el problema de la inestabilidad

dimensional de la cuerda se mantenía debido al desgaste de las herramientas de corte por lo que se obtenían cuerdas muy justas que impedían el enroscado del cople, o cuerdas muy flojas que facilitaban el deslizamiento de las barras dentro del cople. Lo anterior propicia que el módulo de elasticidad de la zona de unión se redujera a aproximadamente la mitad del alcanzado en las barras de refuerzo sin conexión.

Los conectores de tercera generación presentan innovaciones en su fabricación que los hace más confiables. Las mejoras consisten en:

- a) Empleo de barras de refuerzo con menor altura de corrugaciones, siempre dentro lo especificado en las normas respectivas, lo que permite tener un diámetro del núcleo original de la barra relativamente mayor que el alcanzado con las barras que se empleaban en los conectores de primera y segunda generación.
- b) Ensanchamiento de los extremos de las barras que se conectan mediante forjado en frío, cambiando las propiedades físicas y metalúrgicas del acero en la zona de la cuerda.
- c) Formación del cilindro en los extremos de las barras de manera precisa con lo cual se logra tener una alineación axial correcta en la unión de las barras.
- d) Fabricación de la cuerda mediante rolado o laminado; al presionar unos roles de acero especial endurecido con la forma de la cuerda contra el cilindro de los extremos, girando a altas revoluciones, el metal se deforma en frío obteniendo una cuerda limpia, de dimensiones exactas y sin grietas. La deformación en frío también genera un cambio en la resistencia del acero y una cuerda de grano continuo.

En la figura 1 se ilustra el aspecto con que quedan estas cuerdas y la longitud ampliada de las mismas lo cual facilita el armado del conjunto.



Fig 1. Barras con conector de tercera generación

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS BARRAS

2.1 Aspectos dimensionales y de masa

En la tabla 1 aparecen las características dimensionales y de masa determinadas en las barras B-8-1 y B-8-2, así como los valores especificados en la Norma ASTM A 615/A 615M.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES Y DE MASA

Característica	Espécimen B-8-1	Espécimen B-8-2	ASTM A 615/A 615M
Área, cm ²	4.92	4.94	5.10
Masa unitaria, kg/m	3.86	3.87	3.97
Corrugaciones:			
Espaciamiento máx, mm	16.37	16.35	17.8
Separación máx, mm	4.015	4.040	9.7
Altura mín, mm	1.357	1.333	1.27
Ángulo inclinación, grados	58	57.9	>45

Los resultados indican que la masa unitaria, y, por tanto el área de la sección transversal, resultaron inferiores a los valores especificados como nominales; esta situación no es motivo de rechazo pues lo que se afectaría es el valor de los esfuerzos de fluencia y máximo y éstos se calculan con las áreas nominales de las barras.

En cuanto a las corrugaciones, la tabla 1 indica que las barras de refuerzo utilizadas cumplen ampliamente con los requisitos establecidos en la norma correspondiente.

2.2 Propiedades mecánicas

El esfuerzo de fluencia promedio alcanzó un valor de 4927 kg/cm^2 , muy por arriba del valor nominal para las barras grado 42 que es de 4200 kg/cm^2 ; el esfuerzo máximo promedio fue de 7431 kg/cm^2 , también superior al valor mínimo especificado para barras grado 42 que es de 6300 kg/cm^2 .

El módulo de elasticidad obtenido resultó de $2\,018\,149 \text{ kg/cm}^2$, muy cercano al valor nominal del módulo que es de $2\,000\,000 \text{ kg/cm}^2$. En cuanto la deformación a la falla, el valor promedio fue de 20.1%, siendo el valor mínimo requerido de 8%.

Por lo antes comentado se puede decir que las barras de refuerzo grado 42 empleadas para verificar el desempeño de las uniones barra-conector cumplen con los requisitos establecidos en la norma ASTM antes mencionada.

3. DESEMPEÑO DE LAS UNIONES BARRA-CONECTOR

3.1 Características dimensionales de la unión

Por la ampliación de la sección transversal en los extremos de las barras a unir, el área en estas secciones se incrementó alcanzando valores promedio de 5.29 cm^2 , en tanto que las barras tenían originalmente un área de 4.93 cm^2 .

Por su parte los conectores tienen una sección transversal cuya área promedio fue de 7.39 cm^2 , superior al área de las barras aún en la sección de cuerdas. Aunque no se verificó, se supone que la calidad del acero empleado en los conectores es igual a superior a la de las barras que une, razón por lo cual la falla del conjunto barra-conector no se presenta en el conector.

3.2 Propiedades mecánicas de la unión

3.2.1 Ensayes estáticos

Los esfuerzos de fluencia y máximo alcanzados en el ensaye estático de la conexión estuvieron gobernados por las características de las barras empleadas, debido a que la falla se presentó en una de las barras que se unen, fuera de la sección de la conexión. Así mismo, la deformación a la falla también fue gobernada por las características de las barras empleadas y fue del mismo orden (17.38%) de las obtenidas en las barras sin conector. Cabe señalar que como el registro de las deformaciones se hizo en el tramo de la conexión, las curvas esfuerzo-deformación no muestran un esfuerzo de fluencia definido.

El módulo de elasticidad se determinó en el tramo donde se encuentra la conexión y, por tanto, se ven afectadas las deformaciones por el desempeño de la conexión. El valor alcanzado promedio fue muy similar al obtenido en las barras sin conector, $1\,935\,535\text{ kg/cm}^2$, lo que es indicativo que no hubo corrimiento relativo entre las cuerdas en el tramo de la conexión. Cabe señalar que en las conexiones de primera y segunda generación el corrimiento relativo en las cuerdas era notorio, obteniendo módulos de elasticidad del orden de la mitad del valor nominal de $2\,000\,000\text{ kg/cm}^2$.

3.2.2 Ensayes cíclicos

A otro par de especímenes con conector se les aplicaron cargas cíclicas. Los ciclos de carga variaron desde una carga prácticamente nula hasta la correspondiente a una deformación unitaria de 4% determinada en el ensaye estático de las barras sin conector. Los ciclos de carga aplicados fueron 18 y posteriormente se continuó la aplicación de la carga hasta la falla.

En las gráficas esfuerzo-deformación correspondientes a estos ensayes (B-8-C-C-3 y B-8-C-C-4) se puede observar que los ciclos aplicados tuvieron un comportamiento elástico, no se presentó deslizamiento entre las cuerdas de la conexión y que las propiedades mecánicas de la conexión tuvieron características similares a las alcanzadas en el ensaye estático. Nuevamente estas propiedades mecánicas estuvieron gobernadas por las características de las barras unidas y no por la conexión.

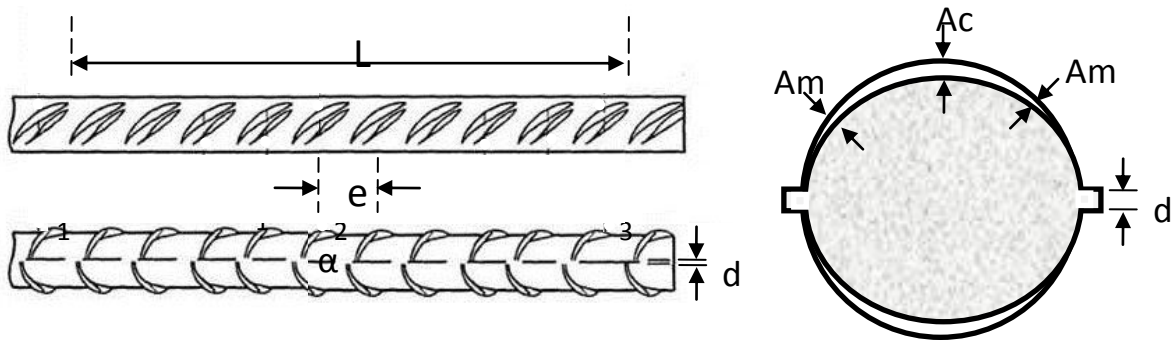
NOTA: En el Apéndice adjunto se incluye toda la información generada en relación con estos ensayes, así como las gráficas esfuerzo-deformación correspondientes a cada uno.

4. CONCLUSIÓN

Por los resultados obtenidos en estos ensayos preliminares se puede prever que los conectores roscados de tercera generación evaluados en este estudio tienen muchas posibilidades de calificar inclusive como conectores tipo 2, ya que cumplen con los requisitos que se establecen en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, RCDF.

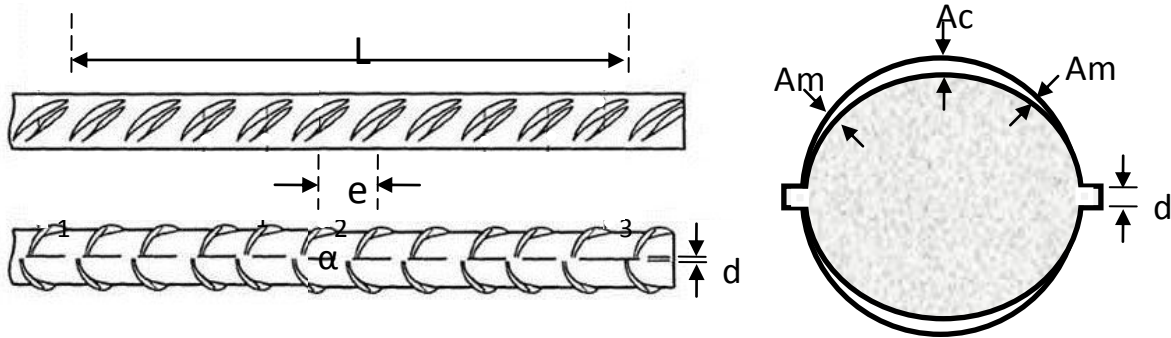
APÉNDICE

BARRA DE 1"
 Identificación: B-8-1
 Ensayo estático
 Área nominal: 5.07 cm²



ID	Espaciamiento entre corrugaciones		Distancia entre corrugaciones		Altura de corrugaciones			Ángulo de	
	L	e	d		Am	Ac	Am	Corrugación	
	mm	mm	mm		mm	mm	mm	α	
	Cara 1	Cara 1	Cara 2	Cara 1	Cara 2	Cara 1	Cara 1	Cara 1	Cara 1
	163.8	16.38		4.2	3.9	1.5	2.0	0.7	58
	Cara 2			4.1	3.9	1.5	1.7	0.8	58
	163.6	16.36		4.2	3.8	1.6	1.6	0.8	58
				4.2	3.8	1.6	1.6	0.8	58
				4.2	3.9	1.6	1.7	0.8	58
B-8-1				4.0	4.0	1.6	1.6	0.9	58
				4.0	3.9	1.6	1.7	0.8	58
				4.1	3.8	1.5	1.7	0.8	58
	L			4.3	3.8	1.5	1.6	0.9	58
				4.2	4.0	1.5	1.9	0.8	58
	Promedio	16.37		4.15	3.88	1.55	1.71	0.81	58
	Desv. est.	0.0141		0.0972	0.0789	0.0527	0.1370	0.0568	0.0000
	C. V. %	0.09%		2.34%	2.03%	3.40%	8.01%	7.01%	0.00%
	Promedio	16.37		4.015		1.357			58
	Desv. est.	0.0141		0.009		0.408			0
	C. V. %	0.09%		0.22%		30.09%			0.00%

BARRA DE 1"
 Identificación: B-8-2
 Ensayo estático
 Área nominal: 5.07 cm²



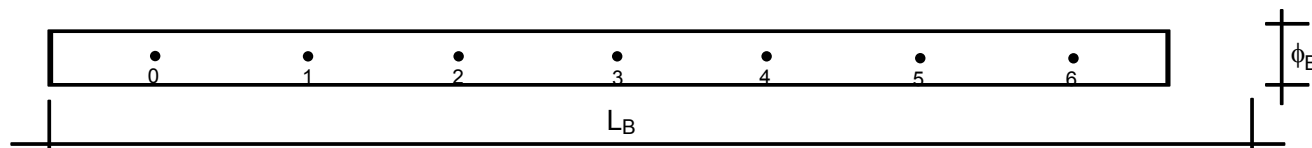
ID	Espaciamiento entre corrugaciones		Distancia entre corrugaciones		Altura de corrugaciones			Ángulo de	
	L	e		d		Am	Ac	Am	Corrugación
	mm	mm		mm		mm	mm	mm	α
	Cara 1	Cara 1	Cara 2	Cara 1	Cara 2	Cara 1	Cara 1	Cara 1	Cara 1
	163.5	16.35		4.1	4.1	1.6	1.9	0.6	58
	Cara 2			4.2	3.9	1.7	1.8	0.7	58
	163.5	16.35		4.2	3.9	1.5	1.8	0.8	58
				4.2	3.9	1.6	1.6	0.8	58
				4.3	3.8	1.6	1.6	0.8	58
B-8-2				4.1	3.8	1.5	1.5	0.9	58
				4.1	4.0	1.5	1.5	0.9	58
				4.2	4.0	1.5	1.5	0.9	57
	L			4.0	3.9	1.6	1.5	0.8	58
				4.1	4.0	1.7	1.4	0.9	58
	Promedio	16.35		4.15	3.93	1.58	1.61	0.81	57.9
	Desv. est.	0.00		0.08	0.09	0.08	0.17	0.10	0.32
	C. V. %	0.00%		2.05%	2.41%	4.99%	10.33%	12.28%	0.55%
	Promedio	16.35		4.04		1.333			57.9
	Desv. est.	0.00		0.143		0.394			0.316
	C. V. %	0.00%		3.54%		29.57%			0.55%

BARRA DE 1"

Identificación: B-8-X

Ensayo estático

Área nominal: 5.07 cm²



Características de las barras

Identificación	Barra	Longitud m	Peso kg	Área calculada cm ²	Masa unitaria kg/m
B-8-1	SICARTSA	1.205	4.650	4.92	3.86
B-8-2	SICARTSA	1.206	4.670	4.94	3.87
Promedio				4.93	3.87
Desv Estandar				0.0121	0.0095
Coef d Variación				0.24%	0.24%

Resultados del ensayo

ID	Carga máxima kg	Esfuerzo máximo kg/cm ²	Fluencia kg/cm ²	Módulo kg/cm ²	Deformación máxima %
B-8-1	37,680	7,432	4,914	2,079,894	19.90
B-8-2	37,671	7,430	4,941	1,956,405	20.30
Promedio	37,675.50	7,431.00	4,927.50	2,018,149.50	20.10
Desv Est	6.3640	1.4142	19.0919	87,319.9093	0.2828
Coef Variac	0.02%	0.02%	0.39%	4.33%	1.41%

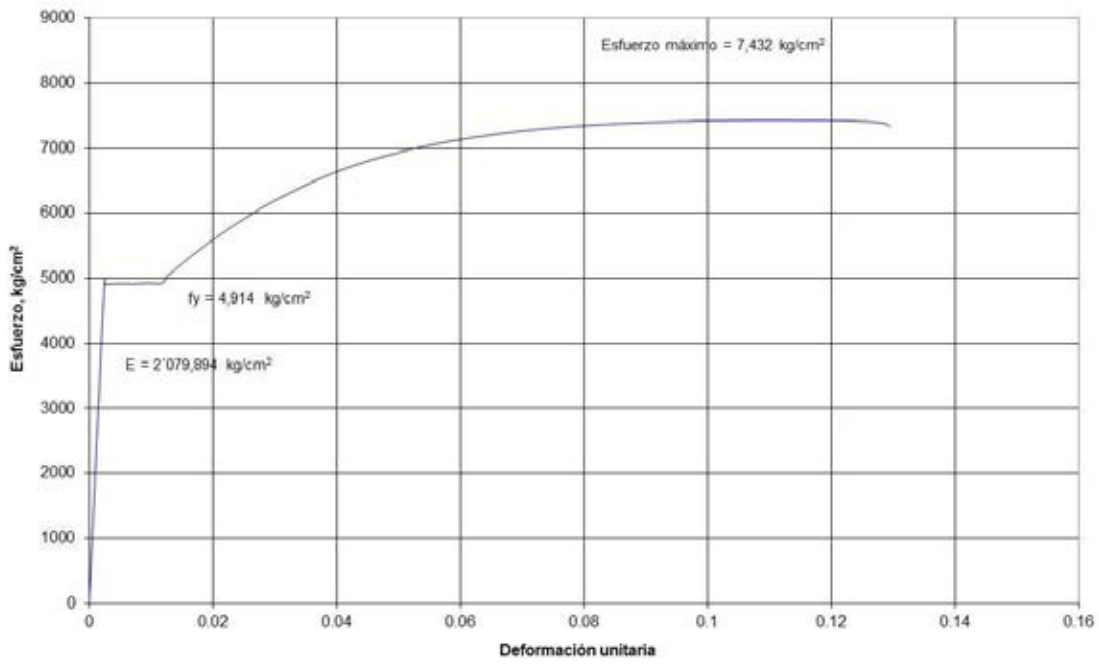
Deformación máxima para 200 mm-B-8-1

Tramo	Lectura inicial mm	Lectura final mm	Deformación máxima, %
0 – 1	101.0	124.0	19.90
1 – 2	100.0	116.8	
2 – 3	99.8	114.6	
3 – 4	98.9	113.0	
4 – 5	99.4	112.9	
5 – 6	98.8	111.6	

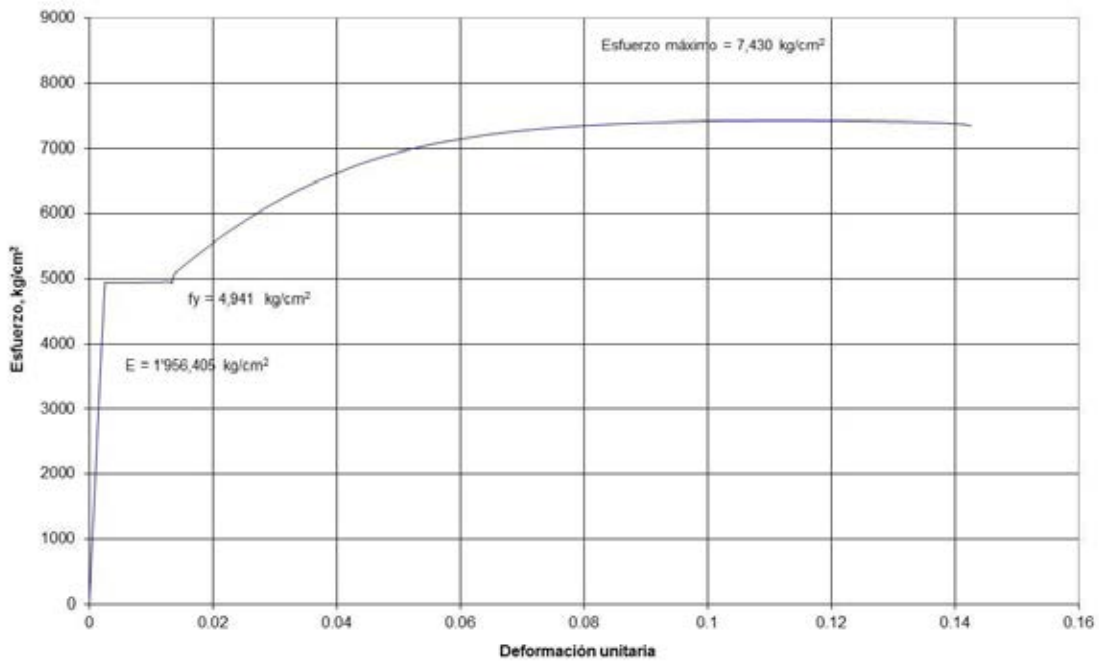
Deformación máxima para 200 mm-B-8-2

Tramo	Lectura inicial mm	Lectura final mm	Deformación máxima, %
0 – 1	99.8	114.6	
1 – 2	99.2	114.8	
2 – 3	99.2	114.8	
3 – 4	99.0	114.8	
4 – 5	100.0	116.2	
5 – 6	100.0	124.4	20.30

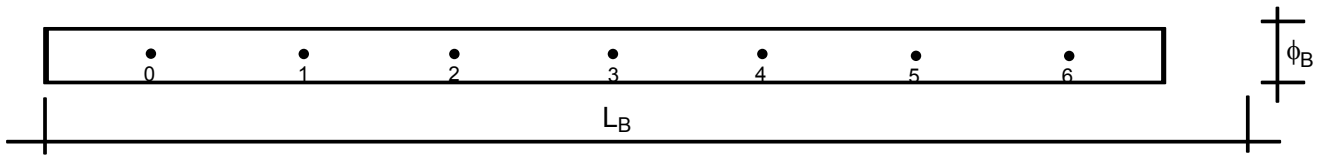
B-8-1



B-8-2



BARRAS DE 1" (# 8)



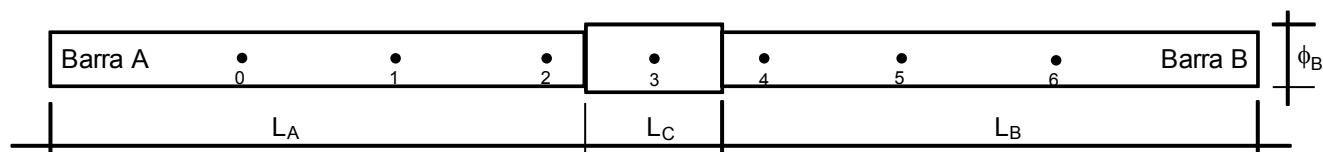
Modo de falla	Ubicación de la falla
<p>B-8-1</p>	<p>0 - 1</p>
<p>B-8-2</p>	<p>5 - 6</p>

BARRA DE 1" CON CONECTOR

Identificación: B-8-C-X

Ensayo estático

Área nominal: 5.07 cm²



Características de las barras

	Barra	Longitud	Conector	Conector	Peso Total
Identificación		$L_A + L_C + L_B$	L_C	Diámetro	
		m	mm	mm	kg
B-8-C-1	SICARTSA	1.199	62.4	41.3	5.055
B-8-C-2	SICARTSA	1.197	61.88	41.3	5.030

Resultados del ensayo

ID	Carga máxima	Esfuerzo máximo	Fluencia	Módulo	Deformación máxima
	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	%
B-8-C-1	37,884	7,464	4,530	1,956,405	17.20
B-8-C-2	37,861	7,468	4,560	1,914,666	17.55
Promedio	37,872.50	7,466.00	4,545.00	1,935,535.50	17.38
Desv Est	16.2635	2.8284	21.2132	29,513.9299	0.2475
Coef Variac	0.04%	0.04%	0.47%	1.52%	1.42%

Deformación máxima para 200 mm-B-8-C-1

Tramo	Lectura inicial	Lectura final	Deformación máxima, %
	mm	mm	
0 – 1	99.7	112.7	
1 – 2	100.3	111.3	
2 – 3	99.5	115.6	
3 – 4	99.9	115.2	
4 – 5	99.9	111.7	
5 – 6	100.0	122.6	17.20

Deformación máxima para 200 mm-B-8-C-2

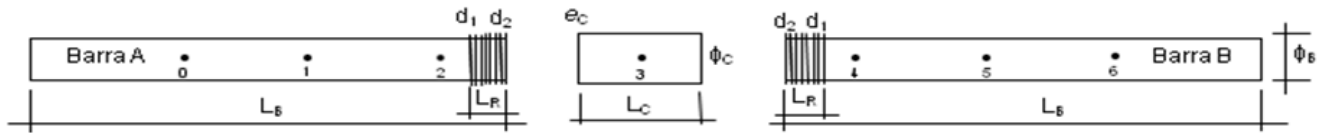
Tramo	Lectura inicial	Lectura final	Deformación máxima, %
	mm	mm	
0 – 1	99.8	112.8	
1 – 2	99.8	110.0	
2 – 3	99.7	105.4	
3 – 4	99.0	104.7	
4 – 5	99.5	110.6	
5 – 6	99.5	123.5	17.55

BARRA DE 1" CON CONECTOR

Identificación: B-8-C-X

Ensayo estático

Área nominal: 5.07 cm²



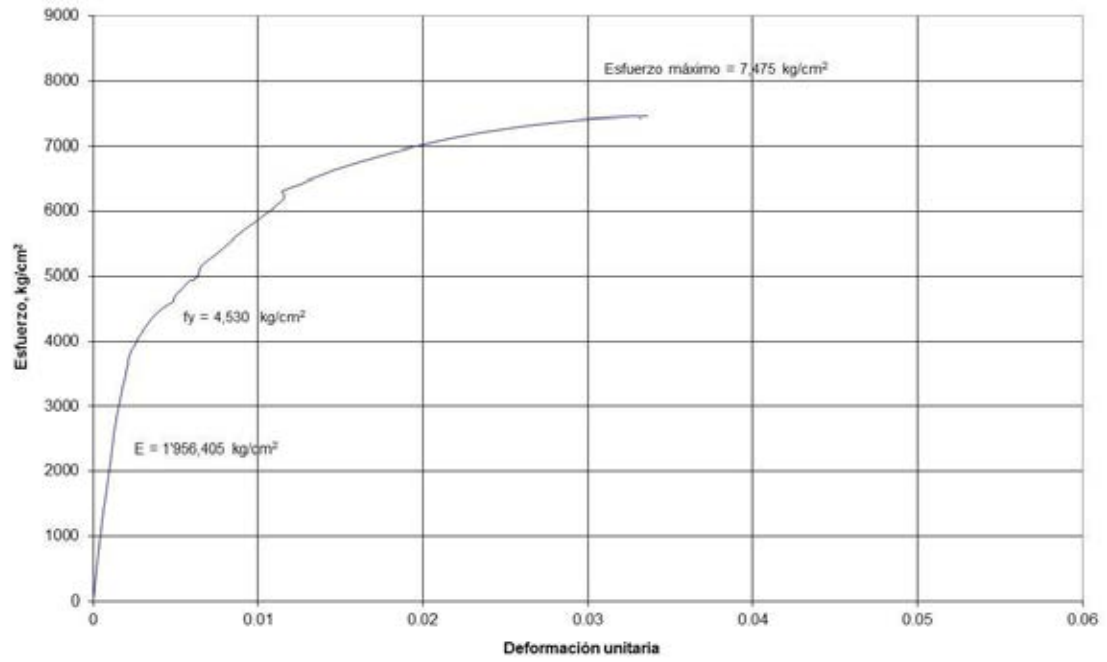
Características de las barras y conector

BARRA A								
ID	L _B	L _R	d ₁	d ₂	Peso	Cuerda	d _{cuerda prom}	A _{cuerda prom}
	mm	mm	mm	mm	gr	#	mm	cm ²
B-8-C-1	602	45.6	27	24.9	2360	15	25.95	5.29
B-8-C-2	597	46.4	26.7	24.8	2335	15	25.75	5.21
BARRA B								
ID	L _B	L _R	d ₁	d ₂	Peso	Cuerda	d _{cuerda prom}	A _{cuerda prom}
	mm	mm	mm	mm	gr	#	mm	cm ²
B-8-C-1	597	46.6	27.4	25	2335	15	26.2	5.39
B-8-C-2	599	46.5	27.0	24.8	2330	15	25.9	5.27
Promedio	598.75	46.275	25.95				25.95	5.29
Desv. estándar	2.3629	0.4573	1.1662				0.1871	0.0748
C. V.	0.39%	0.99%	4.49%				0.72%	1.41%

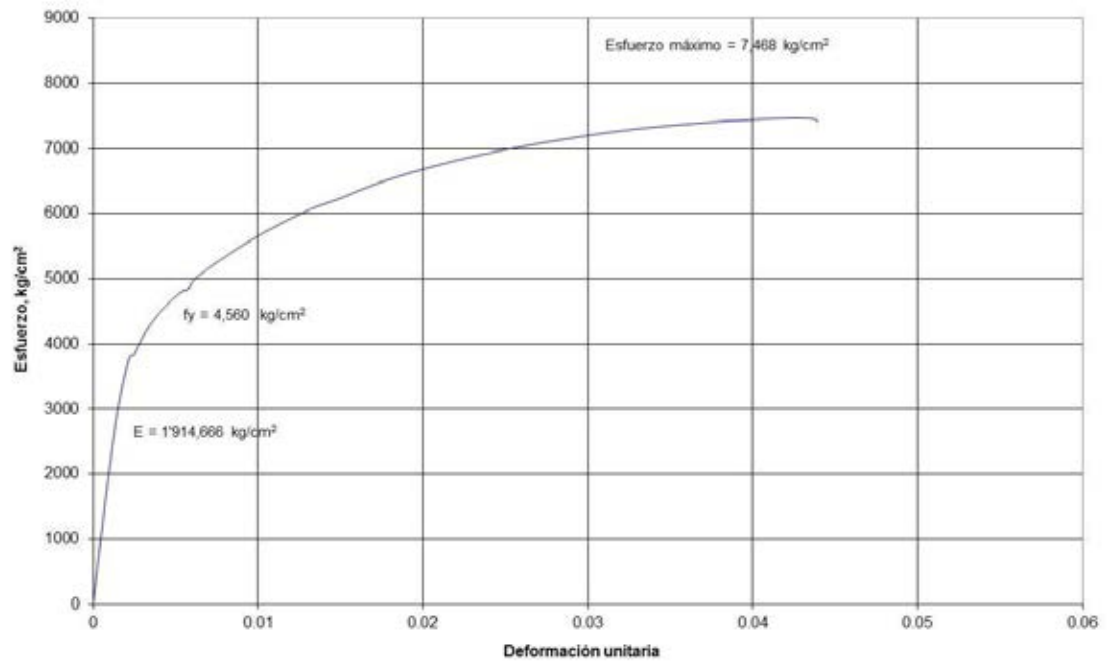
CONECTOR						
ID	L _c	φ _c	Peso	e _c	Cuerda	Área calc.
	mm	mm	gr	mm	#	cm ²
B-8-C-1	62.4	41.3	360	7.8	19	7.36
B-8-C-2	61.8	41.3	360	7.6	19	7.43
Promedio	62.1	41.3		7.7		7.39
Desv. estándar	0.4243	0.00		0.1414		0.0505
C. V.	0.68%	0.00%		1.84%		0.68%

ID	# Cuerdas				
	Barra A	Barra B	∑ (A + B)	Conector	Diferencia
	#	#	#	#	#
B-8-C-1	15	15	30	19	11
B-8-C-2	15	15	30	19	11

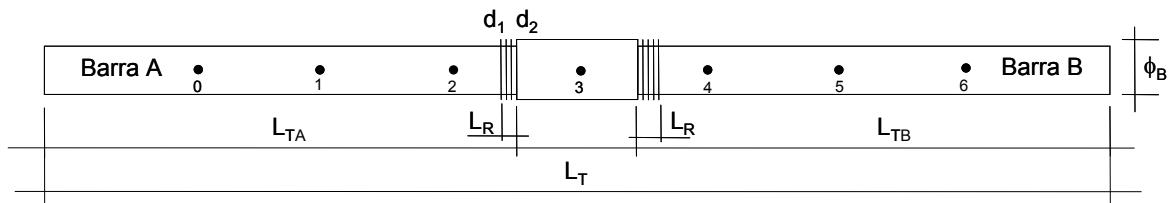
B-8-C-1



B-8-C-2



BARRAS DE 1" CON CONECTOR (# 8)



Modo de falla

Ubicación de la falla



5 - 6
A 239.1 mm del conector



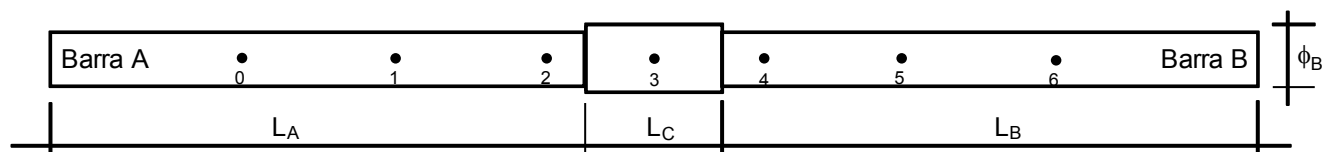
5 - 6
A 218.3 mm del conector

BARRA DE 1" CON CONECTOR

Identificación: B-8-C-C-X

Ensayo cíclico

Área nominal: 5.07 cm²



Características de las barras

	Barra	Longitud	Conector	Conector	Peso Total
Identificación		$L_A + L_C + L_B$	L_C	Diámetro	
		m	mm	mm	kg
B-8-C-C-3	SICARTSA	1.196	62.0	41.4	5.030
B-8-C-C-4	SICARTSA	1.196	62.00	41.5	5.030

Resultados del ensayo

ID	Carga máxima	Esfuerzo máximo	Fluencia	Módulo	Deformación máxima
	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	%
B-8-C-C-3	37,758	7,447	4,550	1,971,033	19.50
B-8-C-C-4	37,793	7,454	4,520	1,874,044	18.05
Promedio	37,775.50	7,450.50	4,535.00	1,922,538.50	18.78
Desv Est	24.7487	4.9497	21.2132	68,581.5796	1.0253
Coef Variac	0.07%	0.07%	0.47%	3.57%	5.46%

Deformación máxima para 200 mm-B-8-C-C-3

Tramo	Lectura inicial	Lectura final	Deformación máxima, %
	mm	mm	
0 – 1	99.5	124.7	19.50
1 – 2	99.6	113.4	
2 – 3	98.5	115.6	
3 – 4	99.2	114.9	
4 – 5	98.8	109.1	
5 – 6	99.8	111.5	

Deformación máxima para 200 mm-B-8-C-C-4

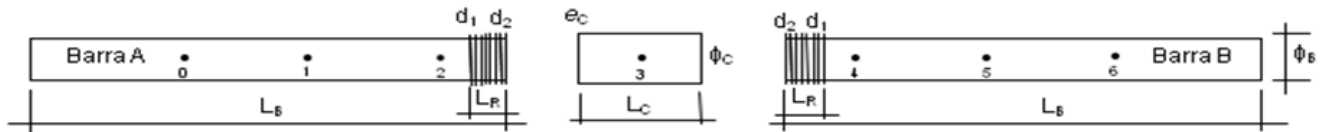
Tramo	Lectura inicial	Lectura final	Deformación máxima, %
	mm	mm	
0 – 1	99.6	112.8	
1 – 2	99.5	110.8	
2 – 3	99.5	105.3	
3 – 4	99.0	105.5	
4 – 5	98.3	110.9	
5 – 6	101.2	124.7	18.05

BARRA DE 1" CON CONECTOR

Identificación: B-8-C-X

Ensayo estático

Área nominal: 5.07 cm²



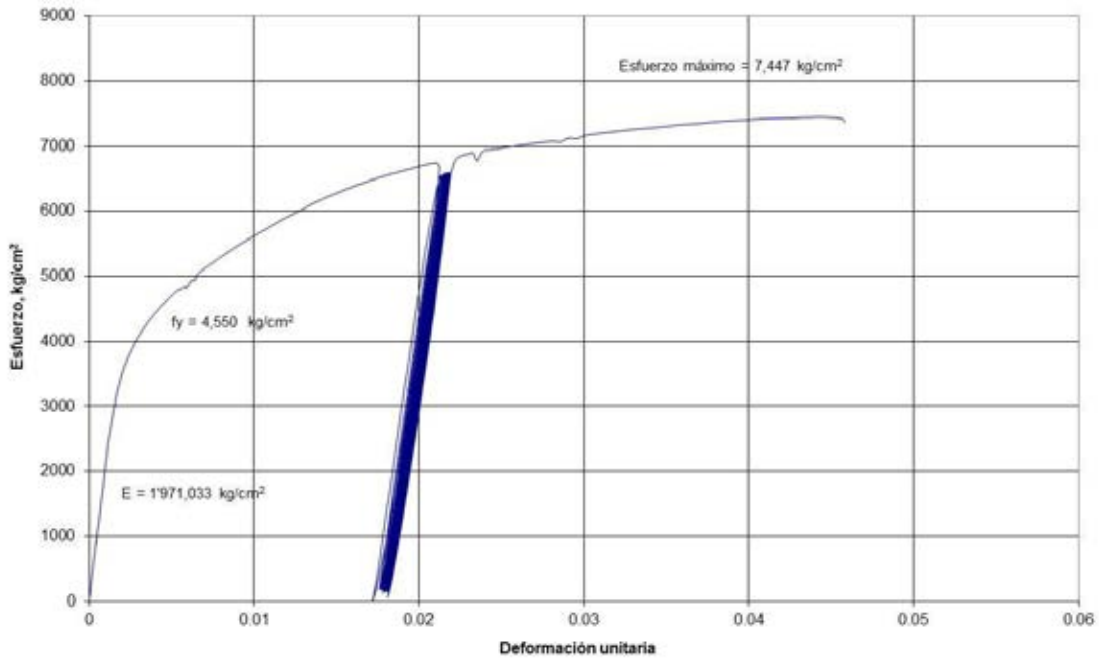
Características de las barras y conector

BARRA A								
ID	L _T	L _R	d ₁	d ₂	Peso	Cuerda	d _{cuerda prom}	A _{cuerda prom}
	mm	mm	mm	mm	gr	#	mm	cm ²
B-8-C-C-3	599	46.5	26.5	24.8	2330	15	25.65	5.167
B-8-C-C-4	597	46.6	27.0	24.0	2335	15	25.50	5.107
BARRA B								
ID	L _T	L _R	d ₁	d ₂	Peso	Cuerda	d _{cuerda prom}	A _{cuerda prom}
	mm	mm	mm	mm	gr	#	mm	cm ²
B-8-C-C-3	598	45.9	27.5	24.8	2335	15	26.15	5.371
B-8-C-C-4	600	46.5	27.3	24.9	2330	15	26.10	5.350
Promedio	598.5	46.375	25.85				25.85	5.24875
Desv. estándar	1.2910	0.3202	1.3680				0.3240	0.1316
C. V.	0.22%	0.69%	5.29%				1.25%	2.51%

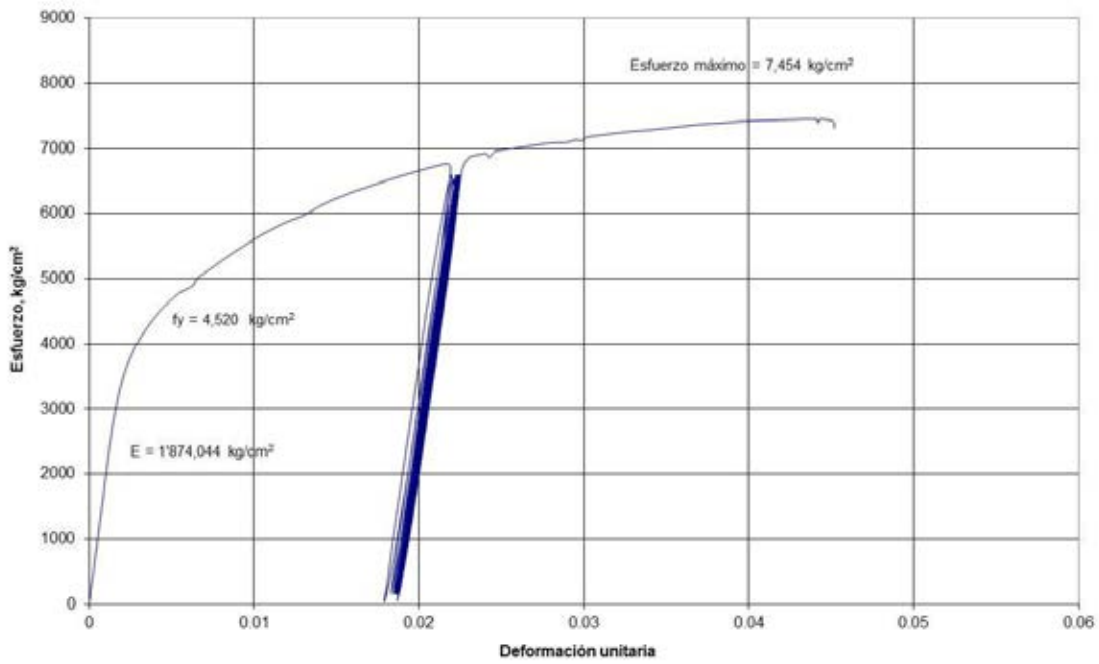
CONECTOR						
ID	L _c	φ _c	Peso	e _c	Cuerda	Área calc.
	mm	mm	gr	mm	#	cm ²
B-8-C-C-3	62.0	41.4	360	7.8	18	7.41
B-8-C-C-4	62.0	41.5	365	7.8	18	7.51
Promedio	62.0	41.45		7.8		7.46
Desv. estándar	0.00	0.0707		0.00		0.0727
C. V.	0.00%	0.17%		0.00%		0.98%

ID	# Cuerdas				
	Barra A	Barra B	∑ (A + B)	Conector	Diferencia
	#	#	#	#	#
B-8-C-C-3	15	15	30	18	12
B-8-C-C-4	15	15	30	18	12

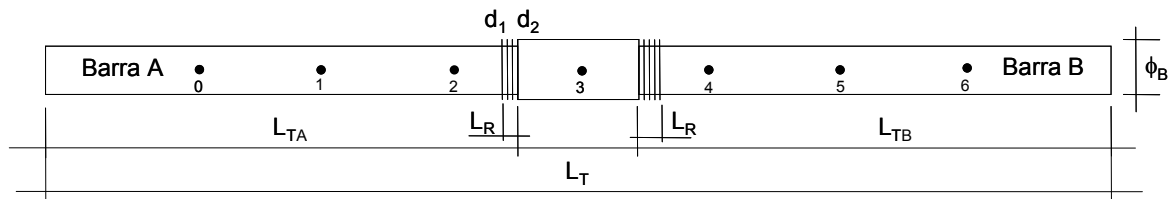
B-8-C-C-3



B-8-C-C-4



BARRAS DE 1" CON CONECTOR (# 8)



Modo de falla	Ubicación de la falla
 <p data-bbox="236 488 416 539">B-8-C-3</p>	<p data-bbox="1225 600 1278 629">0 - 1</p> <p data-bbox="1099 629 1404 658">A 222.9 mm del conector</p>
 <p data-bbox="691 701 871 752">B-8-C-4</p>	<p data-bbox="1225 801 1278 831">5 - 6</p> <p data-bbox="1099 831 1404 860">A 235.6 mm del conector</p>