

Comportamiento de los conectores de cortante tipo tornillo de resistencia grado dos para una sección compuesta con concreto de 28 MPa

Grade-two resistance screw shear connector behaviour for a 28 MPa concrete section

Sherley Larrañaga Rubio¹ y Maritzabel Molina Herrera²

RESUMEN

En Colombia el uso de los conectores de cortante tipo tornillo ha sido cada vez mayor; sin embargo, estos se han venido diseñando de acuerdo con los parámetros establecidos en las Normas Colombianas de Diseño Sismorresistente (NSR-98), requisitos establecidos para conectores tipo espigo. Este trabajo constituye un punto de partida del análisis del comportamiento de los conectores tipo tornillo en secciones compuestas. En la parte experimental se elaboraron 54 probetas compuestas por un perfil metálico y dos placas de concreto donde se encuentran embebidos los conectores. Se utilizaron tornillos con diámetros de 1/2" (12,7 mm), 5/8" (15,9 mm) y 3/4" (19,1 mm), colocados a diferentes separaciones, estas probetas fueron ensayadas a corte directo, y con los datos obtenidos se proponen las ecuaciones para la determinación de la resistencia de este tipo de conectores en secciones compuestas acero-concreto.

Palabras clave: conectores de cortante, secciones compuestas, tornillo.

ABSTRACT

Screw shear connectors are being more commonly used in compound concrete sections in Colombia; however, they have been designed in line with Colombian Seismic-Resistant Standards (NSR-98) rather than those established for stud shear connectors. This work represents a starting point for analysing screw shear connector behaviour. 54 specimens were made for the experiment, consisting of a metallic profile and two concrete slabs where the connectors were embedded. 1/2" (12.7mm), 5/8" (15.9mm) and 3/4" (19.1mm) diameter screws were used and placed at different distances. The push-out test was used with these specimens and results were provided by using some equations for determining this type of connector's strength in steel-concrete sections.

Keywords: stud shear connector, compound section, screw.

Recibido: septiembre 4 de 2006

Aceptado: junio 7 de 2007

Introducción

Las secciones compuestas acero-concreto se han empleado desde 1920 aproximadamente. Hacia 1950 comenzaron a ser utilizadas en puentes, luego de las investigaciones realizadas por Viest (Viest, 1956). Para la década de 1960 se implementaron en el diseño de edificios de acuerdo con las normas introducidas en las especificaciones del AISC en 1961, las cuales están basadas en los estudios de Slutter y Driscoll (Slutter y Driscoll, 1961).

En 1971, a través de una serie de investigaciones realizadas en vigas compuestas y modelos a pequeña escala, usando concretos de diferentes resistencias y varios tamaños de conectores tipo espigo, se analizó el comportamiento entre estos y la resistencia del concreto, con lo cual se estableció la ecuación para determinar la resistencia de los conectores de cortante tipo espigo (Ollgaard, Slutter y Fisher, 1971, pp. 55-64), ecuación que es utilizada para el diseño de dichos conectores en secciones compuestas.

¹ Ingeniera civil, Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Uniagraria. M. Sc., en Estructuras, Universidad Nacional de Colombia. Profesora y Jefe de área de estructuras, Fundación Universitaria Agraria de Colombia - Uniagraria. sclarranagar@unal.edu.co

² Ingeniera civil, Universidad Nacional de Colombia. M. Sc., en Estructuras, Universidad Nacional de Colombia. Estudiante de M.Sc., Métodos Numéricos para el Cálculo y Diseño en Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Estudiante del doctorado, e Análisis Estructural, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. mmolinah@unal.edu.co, mmolinahun@gmail.com

En nuestro país el uso de conectores tipo espigo es bajo, en la mayoría de entresijos con secciones compuestas se han venido empleando como conectores de cortante tornillos, ángulos y otros elementos. En el caso de los tornillos, frente a la falta de especificaciones, estos son diseñados de acuerdo con la ecuación establecida en el artículo F.2.9.5 de las Normas Sismorresistentes (NSR-98), definida únicamente para los conectores tipo espigo (*stud*) y no para los tornillos; adicionalmente la norma específica en el artículo F.2.9.6 que cuando se utilicen como conectores de cortante elementos diferentes a los tratados en el numeral F.2.9.5, deben realizarse estudios experimentales que sustenten la metodología de diseño realizada.

Por tanto, en esta investigación se estudia la influencia de la separación entre los conectores y las variaciones de diámetro de los tornillos grado dos con concreto de 28MPa en la resistencia de secciones compuestas y la clase de falla, para posteriormente determinar una formulación de diseño de conectores de cortante tipo tornillo, con el fin de garantizar sistemas de entresijos más seguros.

Descripción de los modelos

Los modelos consisten en un perfil MM de lámina delgada de 0,30 m de altura y 0,40 m de longitud, más dos losas macizas de concreto en cada una de sus aletas, las cuales se unen al perfil por medio de los conectores de cortante tipo tornillo grado 2. Estos fueron soldados a las uniones de los perfiles M, utilizando una soldadura E70-18.

Las dimensiones de las placas de concreto son de 0,50 m de longitud, 0,30 m de ancho y 0,10 m de espesor, como se muestra en la Figura 1.

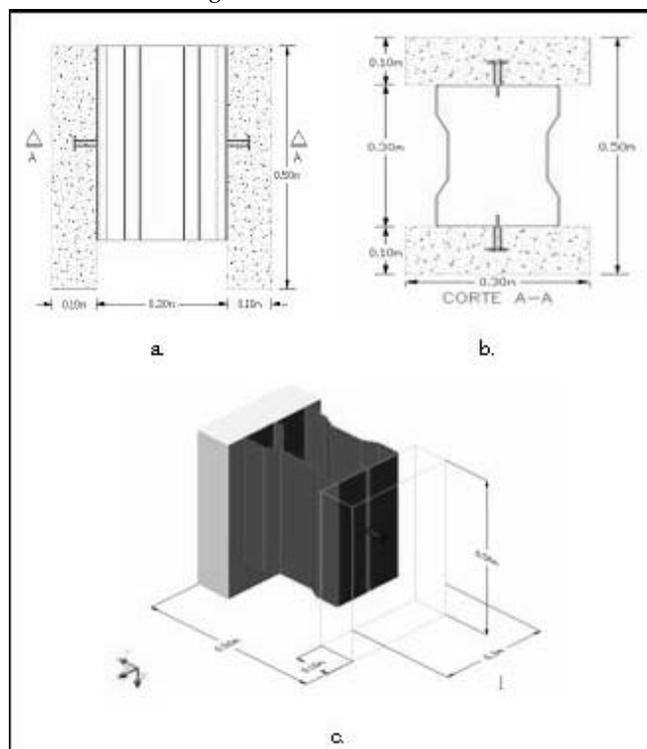


Figura 1. Modelo propuesto: a) vista de perfil; b) corte A-A; c) modelo 3D

Tipos de modelos

Para determinar la influencia de los tornillos en la resistencia y tipo de falla de las probetas se ensayaron dieciocho modelos con una resistencia de los conectores de cortante tipo tornillo grado (2), en los cuales se variaron el diámetro, la separación y la cantidad de tornillos, como se indica en la Tabla 1. Por cada tipo de modelo se hicieron tres probetas, fabricándose en total cincuenta y cuatro probetas para dieciocho modelos.

Tabla 1. Características de los modelos

Modelo	Tipo de modelo	Diámetro del conector [pulg]	Número de conectores por placa	Separación entre conectores [cm]
M-1	Tipo 1	1/2	1	
M-1-2(8cm)	Tipo 2		2	8
M-1-2(12cm)	Tipo 3			12
M-1-2(14cm)	Tipo 4			14
M-1-3(12cm)	Tipo 5		3	12
M-1-3(14cm)	Tipo 6			14
M-2	Tipo 7	5/8	1	
M-2-2(10cm)	Tipo 8		2	10
M-2-2(12cm)	Tipo 9			12
M-2-2(14cm)	Tipo 10			14
M-2-3(12cm)	Tipo 11		3	12
M-2-3(14cm)	Tipo 12			14
M-3	Tipo 13	3/4	1	
M-3-2(12cm)	Tipo 14		2	12
M-3-2(14cm)	Tipo 15			14
M-3-2(16cm)	Tipo 16			16
M-3-3(12cm)	Tipo 17		3	12
M-3-3(14cm)	Tipo 18			14

Materiales

Se efectuaron pruebas a cada material de las probetas con el fin de establecer sus propiedades mecánicas.

Concreto

Los ensayos de compresión estándar (a los veintiocho días) dieron como resultados una resistencia promedio a la compresión del concreto con el refrentado con azufre ($f'c$), de 30,43 MPa.

Para definir las propiedades del concreto al momento de efectuar los ensayos fue necesario extraer seis núcleos de 0,075 m de diámetro y 0,15 m de altura, para la determinación de la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción del concreto.

En la Tabla 2 se despliegan los resultados obtenidos de los ensayos, donde se calculó un esfuerzo a la compresión promedio ($f'c$) de 42,2 MPa, siendo mayor al encontrado a los veintiocho días; el módulo de elasticidad fue de 21,0 MPa y esfuerzo a la tracción de 8,2 MPa.

Tabla 2. Resultados de los ensayos del concreto a los sesenta días con el refrentado en azufre

Núcleo	Prueba	f'c (MPa)
1	Compresión	42,70
2	Compresión	41,40
3	Módulo elasticidad	42,60
4	Módulo elasticidad	48,10
5	Tracción	9,3
4	Tracción	71

Perfil de acero tipo M

Se utilizaron perfiles abiertos tipo M formados en frío (Figura 2). Para establecer las propiedades básicas del acero se determinó la curva esfuerzo-deformación por medio del ensayo a tensión; para ello se ensayaron tres probetas, obteniendo los siguientes resultados:

$E = 20100 \text{ kg/mm}^2 = 201000 \text{ MPa}$

$F_y = 32,5 \text{ kg/mm}^2 = 325 \text{ MPa}$

$F_u = 58 \text{ kg/mm}^2 = 580 \text{ MPa}$

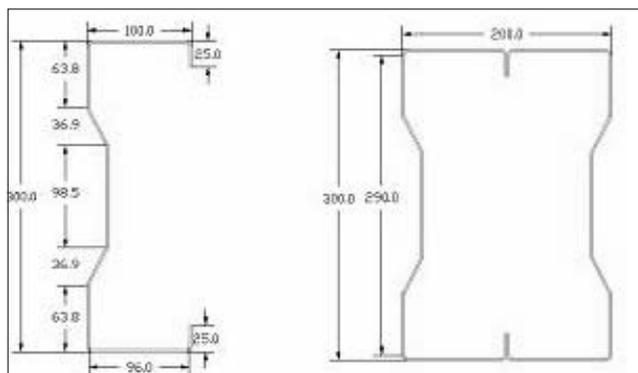


Figura 2. Geometría de los perfiles M y MM utilizados

Conectores de cortante tipo tornillo

Como conectores de cortante se emplearon tornillos grado 2 de cabeza hexagonal de diámetros de 1/2" (12,7 mm), 5/8" (15,9 mm) y 3/4" (19,1 mm), con una longitud de 2" (50,8 mm).

Dos conectores de cada diámetro de tornillo fueron ensayados a corte y a tensión simple; las pruebas se realizaron en la Escuela Colombiana de Ingeniería (Figura 3). Los resultados de estos ensayos se presentan en la Tabla 3.

Cargas nominales

Con el fin de estimar en forma aproximada la carga de los ensayos se calcularon las cargas nominales (o resistentes) teóricas para los cuales se producen la falla del material, ya sea en el concreto, los conectores o la soldadura de los tornillos.

Para el cálculo de estas cargas nominales de los modelos se usaron las propiedades de cada uno de los materiales

y los procedimientos de la NSR-98, concretamente de los conectores de cortante F-2-9-5. En la Tabla 4 se señalan las cargas nominales.

Tabla 3. Ensayos de los conectores tipo tornillo

Probeta	Diámetro (pulg)	Ensayo	Esfuerzo máximo (MPa)	Fu Prom (MPa)
1	1/2	Tensión simple	477,59	507,59
2	1/2	Tensión simple	537,59	
3	5/8	Tensión simple	472,89	467,84
4	5/8	Tensión simple	462,78	
5	3/4	Tensión simple	496,80	486,28
6	3/4	Tensión simple	475,75	
7	1/2	Cortante	366,29	386,02
8	1/2	Cortante	405,76	
9	5/8	Cortante	274,34	278,88
10	5/8	Cortante	283,43	
11	3/4	Cortante	327,34	322,61
12	3/4	Cortante	317,87	

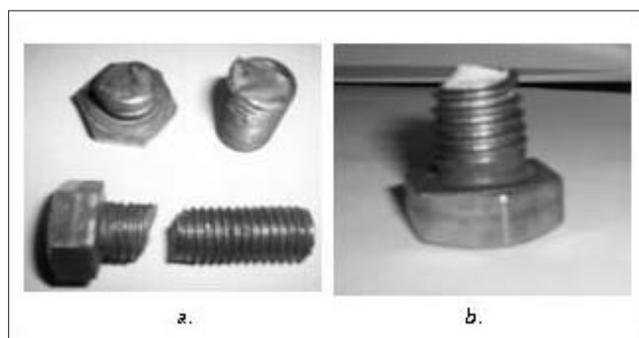


Figura 3. Ensayos de conectores tipo tornillo; a) falla a corte de los tornillos; b) falla a tensión de los tornillos

Tabla 4. Cargas teóricas y experimentales para cada modelo

Modelo	Qn Tornillo [kN]	Qn Soldadura [kN]	Qn Concreto [kN]	Qn NSR [kN]	Qu Experimental [kN]	% Diferencia
M-1	97,80	137,13	2622	97,801	134,33	1,37
M-1-2(8cm)	195,60	191,00	2622	191,00	199,40	1,04
M-1-2(12cm)	195,60	191,00	2622	191,00	209,46	1,10
M-1-2(14cm)	195,60	191,00	2622	191,00	213,82	1,12
M-1-3(12cm)	293,40	191,00	2622	191,00	251,70	1,32
M-1-3(14cm)	293,40	191,00	2622	191,00	277,40	1,45
M-2	110,40	166,75	2622	110,40	172,42	1,56
M-2-2(10cm)	220,80	232,26	2622	220,80	242,43	1,10
M-2-2(12cm)	220,80	232,26	2622	220,80	226,34	1,03
M-2-2(14cm)	220,80	232,26	2622	220,80	264,90	1,20
M-2-3(12cm)	331,20	232,26	2622	232,26	190,52	0,82
M-2-3(14cm)	331,20	232,26	2622	232,26	274,86	1,18
M-3	183,90	196,37	2622	183,90	186,27	1,01
M-3-2(12cm)	36,80	273,51	2622	273,51	230,00	0,84
M-3-2(14cm)	367,80	273,51	2622	273,51	265,45	0,97
M-3-2(16cm)	3,67,80	273,51	2622	273,51	264,73	0,97
M-3-3(12cm)	551,70	273,51	2622	273,51	274,72	1,00
M-3-3(14cm)	551,70	273,51	2622	273,51	255,52	0,93

$Q_n \text{ tornillo} = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot (f_c \cdot E_c)^{0,5}$ $Q_n \text{ concreto} = A_c \cdot f_c$
 $Q_n \text{ soldadura} = A_{sc} \cdot E70 \cdot \text{No. soldaduras por modelo}$ $\% \text{ Diferen} = Q_u \text{ EXPE} / Q_n \text{ NSR}$
 $Q_n \text{ NSR} = \text{Mínima de } Q_n \text{ tornillo, } Q_n \text{ soldadura y } Q_n \text{ concreto}$

B (mm): Ancho de las placas de concreto
 H (mm): Espesor de las placas de concreto
 A_c (mm²): Área efectiva del concreto (B*H)
 A_{sc} (mm²): Área de la soldadura
 f_c (Mpa): Esfuerzo a la compresión del concreto

Construcción de los modelos

Los modelos se elaboraron en una planta de estructuras metálicas para asegurar las mejores condiciones en el proceso de corte y soldadura de los perfiles, así como la soldadura de los tornillos. En este procedimiento fueron armados los perfiles cajón tipo MM, los cuales se unieron por medio de soldadura E70-18 de cordón continuo a lo largo de toda la longitud del perfil, para garantizar que la falla no sucediera por causa de la soldadura; los conectores fueron colocados con soldadura de contorno (Figura 4).

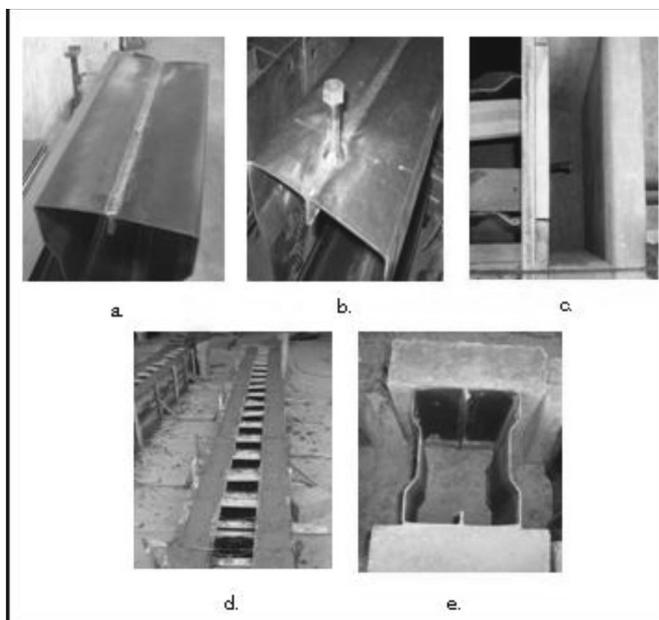


Figura 4. Construcción de los modelos; a) ensamblaje de perfil MM con soldadura de cordón continuo; b) colocación del conector con soldadura de contorno; c) y d) formaleta para la fabricación de modelos; e) modelo terminado.

Para la fundida del concreto se construyó una formaleta especial en madera y perfiles de acero debido a que se requería que las dimensiones de las placas fueran lo más exactas posibles, con el fin de disminuir la variabilidad geométrica entre las muestras.

Procedimiento de ensayo

La forma experimental más empleada en la evaluación del comportamiento y de los esfuerzos de los conectores de cortante es el ensayo o prueba *Push-out*. Este método de ensayo se ha venido usando desde hace varios años para el estudio del comportamiento de los conectores en vigas de secciones compuestas y consiste en aplicar una carga vertical en la parte superior de la sección de acero, la cual es transmitida a las placas de concreto a través de los conectores, produciendo un desplazamiento del perfil, que a su vez genera una fuerza de fricción entre perfil y placas.

Debido a que en la interfase acero-concreto la adherencia no es apreciable, esta fuerza es tomada por los conectores, que cuales trabajan a corte para trasmitirla del perfil

al concreto. Para este montaje del ensayo se empleó un marco de carga con un gato de 500 kN de capacidad hidráulica (Figura 5).

Las probetas fueron colocadas de forma vertical, dejando 0,10 m libres para que en el momento de aplicarse la carga en el perfil, éste se pudiera desplazar hasta que la sección falle.

La carga se aplicó de manera vertical y distribuida por medio de una platina de 2,54 cm de espesor, con incrementos de esfuerzo constante de 1 MPa, y a su vez se midió el desplazamiento vertical del perfil.

Instrumentación

La instrumentación de los ensayos se realizó con dos deformímetros mecánicos de precisión de 0,01 mm, que se colocaron a cada uno de los lados del perfil por medio de bases magnéticas para medir el desplazamiento del mismo. Las mediciones fueron tomadas en cada uno de los rangos de la carga aplicada (Figura 5).

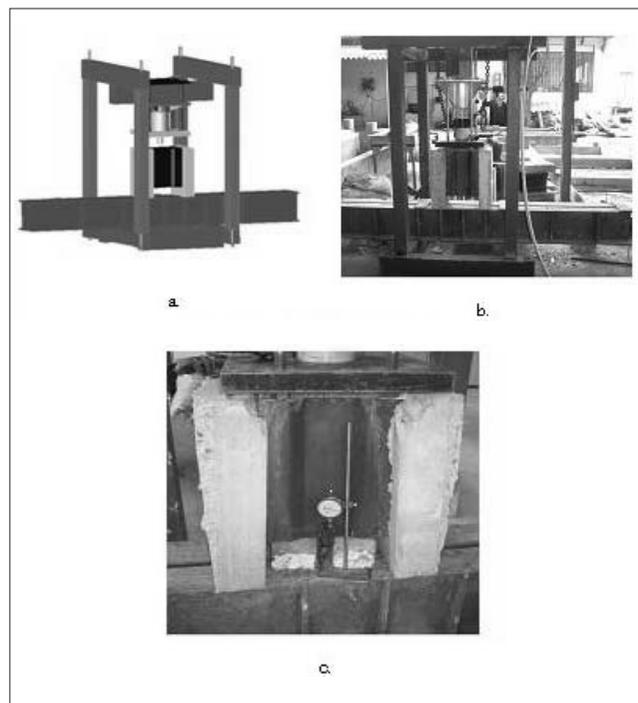


Figura 5. Montaje del ensayo Push-out; a) esquema gráfico del montaje propuesto; b) fotografía del montaje realizado para las pruebas; c) instrumentación en probetas.

Resultados de las pruebas

Curvas promedio de los modelos

Con el propósito de establecer el comportamiento de los modelos ensayados se tomaron los resultados de los deformímetros y se encontraron curvas carga-deformación unitaria por probeta, obteniendo las curvas carga-deformación unitaria para cada modelo. Como ejemplo se indica en la Figura 6 la gráfica para el modelo M-2-1.

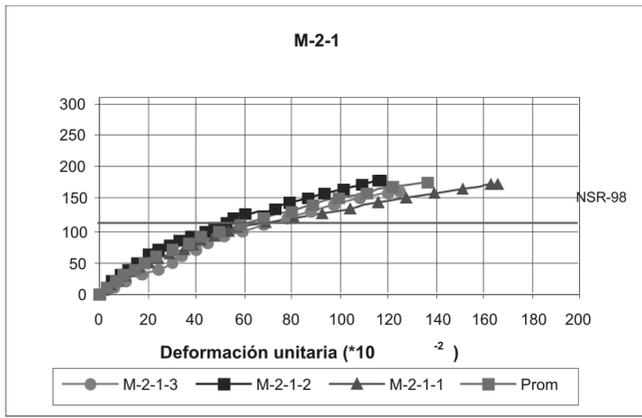


Figura 6. Gráfica promedio carga-deformación

Modos de falla

Las probetas se ensayaron hasta la carga última, en ellas se evidenciaron varios tipos de falla debidas a la influencia de la cantidad, el diámetro y la separación de los conectores.

En el momento de ser aplicada una pequeña parte de la carga se generaba la separación del acero y el concreto, quedando unida la sección solamente por los conectores de cortante. A medida que se seguía aplicando la carga se presentaba una etapa de deslizamiento del perfil, y por último, se producía la falla. Básicamente se observaron tres tipos de falla:

Por soldadura: se generó en los modelos que constan de un tornillo de diámetro de 1/2", modelo M-1-1.

Por rotura del concreto: dentro de ella falla se observaron tres formas de rotura del concreto: en dos, tres y cuatro partes. Estos casos de falla se evidencian en la mayoría de modelos y se presenta combinado tanto con las de pandeo del perfil como de rotura de la soldadura.

Por daños en el perfil: se reflejaron dos formas de daño, una se produjo en la parte superior del perfil (aplastamiento) y la otra fue una abertura del perfil en la parte inferior. Este tipo de falla sucedió en muy pocas de las probetas y con presencia de la falla por rotura del concreto, especialmente cuando se ensayaron las de diámetro de 5/8" con dos conectores y para los diámetros de 3/4" con tres tornillos.

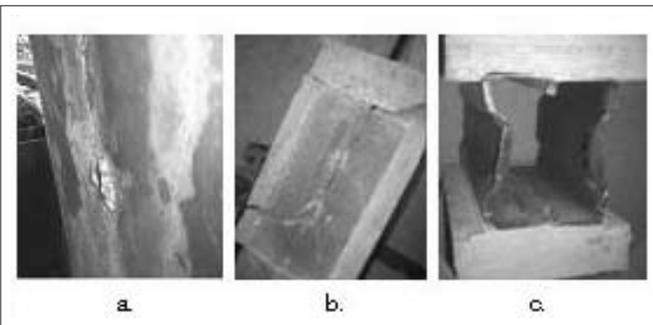


Figura 7. Tipos de falla; a) por soldadura; b) por ruptura del concreto; c) por pandeo del perfil

En la Tabla 5 se describen los diferentes tipos de falla

Tabla 5. Tipos de falla y sus características.

Tipo de falla	Características	Cantidad probetas	% Presentado
1	Falla sólo el concreto. (dos partes)	26	48.15
2	Falla soldadura de los tornillos	6	11.11
3	Falla el concreto en dos partes y trabajan los tornillos	5	9.26
4	Falla el concreto en dos partes, soldadura de uno de los tornillos y los otros se deforman	4	7.41
5	Falla el concreto en cuatro partes, soldadura de uno de los tornillos y los otros se deforman	2	3.7
6	Falla el concreto en dos partes y se presenta daño en la parte inferior del perfil	2	3.7
7	Falla el concreto en tres partes, soldadura de uno de los tornillos y los otros se deforman	1	1.85
8	Falla el concreto en dos partes y se presenta aplastamiento en la parte superior del perfil	4	7.41
9	Daño de la parte inferior del perfil	4	7.41

Comportamiento de los conectores

La influencia de los conectores en el comportamiento de la sección compuesta se hizo evidente en el momento de la rotura del concreto.

En las probetas con diámetro de 1/2" (12,7 mm) y un solo tornillo, la falla se produjo por la soldadura; además, se observó una cierta deformación del tornillo (Figura 8).

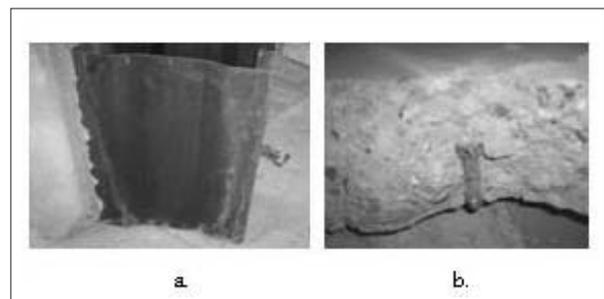


Figura 8. Comportamiento de un conector; a) diámetro 3/4" (falla por concreto); b) diámetro 1/2" (falla por soldadura)

En las probetas que tienen dos y tres conectores se encontró que el conector inferior es el que más se deforma, mientras que el superior no presenta ningún tipo de deformación. En algunos casos se presentó falla por soldadura en el conector inferior, mientras que en un modelo específico se fracturó el conector superior (de probetas con dos conectores), (Figura 9).

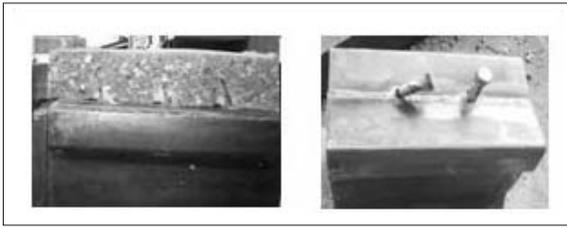


Figura 9. Comportamiento de varios conectores

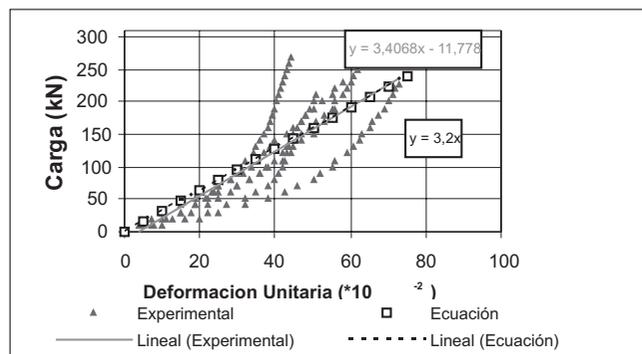
Análisis de resultados

Analizando los resultados obtenidos se establecen unas relaciones matemáticas entre las variables para así determinar unas ecuaciones generales que establezcan en forma aproximada el comportamiento de los conectores tipo tornillo grado 2 con concreto de 28MPa, dando un estimativo tanto de carga como de desplazamiento.

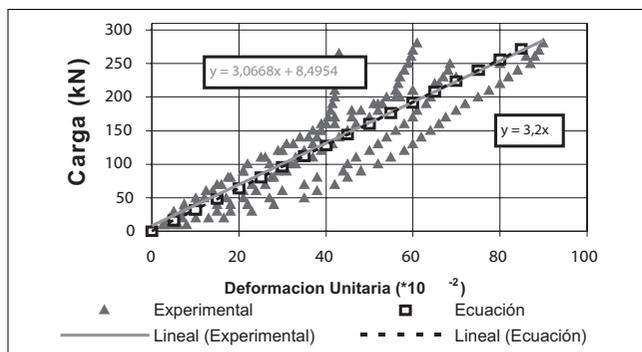
Relación carga–desplazamiento

De acuerdo con la Figura 10, se puede representar el comportamiento a través de una tendencia lineal; y con base en ella se plantea una Ecuación general (1), que lo describe para diferentes separaciones de acuerdo con la carga y el desplazamiento. Es necesario recalcar que esta ecuación fue obtenida según los modelos analizados en esta investigación.

$$Pu = 3.2\Delta \quad (1)$$



a.



b.

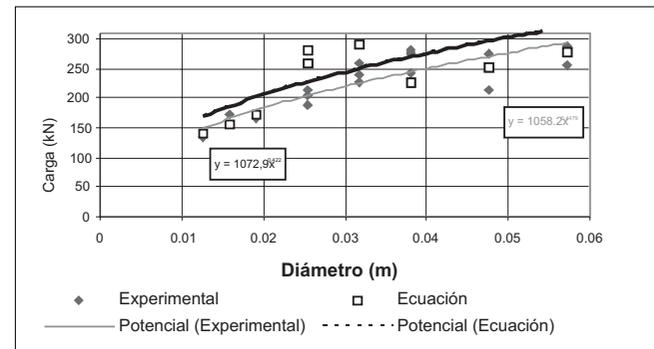
Figura 10. Curvas Carga Vs. Deformación. a) variación entre la tendencia experimental y la obtenida por ecuación, para separación de 12cm; b) variación entre la tendencia experimental y la obtenida por ecuación, para separación de 14cm

La diferencia entre los datos experimentales y los resultados obtenidos por medio de la ecuación (1) se aprecian en la Figura 10, donde se observa que esta ecuación obedece a un comportamiento lineal, mostrado por medio de las ecuaciones de regresión presentadas en cada gráfica.

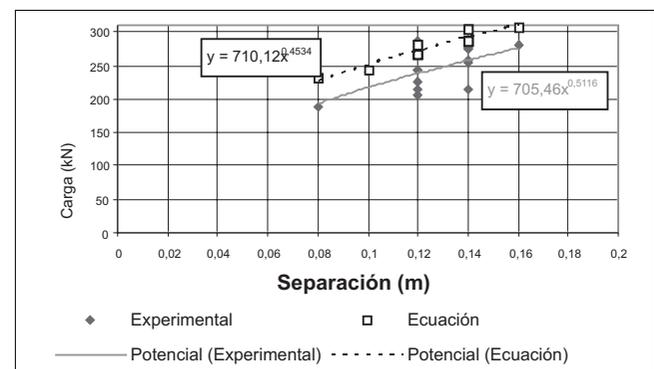
Relación carga–diámetro

Según el análisis, una de las variables que más incide en el comportamiento de estas secciones compuestas es la relación existente entre la carga y el diámetro del conector. Para establecer un estimativo de esta incidencia acorde con los resultados obtenidos en el laboratorio se realizaron varias correlaciones gráficas y una serie de análisis, base de este estudio.

En la Figura 11a se indica la tendencia encontrada con la cual se definieron dos ecuaciones, una para separaciones entre conectores menores a 0,12 m y otra para separaciones entre conectores mayores o iguales a 0,12 m. Es importante aclarar que estas ecuaciones son exclusivamente para conectores tipo tornillo grado 2 y concreto de 28MPa.



a.



b.

Figura 11. Variación entre la tendencia experimental y la obtenida por ecuación; a) curva carga frente a diámetro; b) curva carga frente a separación

Para separaciones menores a 0,12 m:

$$P = 1.1\sqrt{f'_c E_c \phi n} \quad (2)$$

Para separaciones mayores o iguales a 0,12 m:

$$P = \sqrt{f'_c E_c \phi n} \quad (3)$$

Relación carga–separación

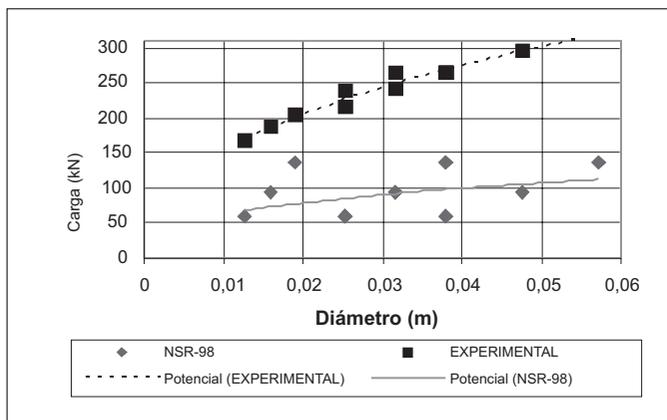
En este caso se especificó una ecuación para determinar la resistencia de los conectores tipo tornillo dentro de la sección compuesta (4). Esta ecuación está en función del concreto y de la separación entre conectores. La Figura 11b muestra los datos utilizados y la tendencia encontrada tanto experimentalmente como por la ecuación planteada.

$$P = 0.85\sqrt{f'_c E_c S} \quad (4)$$

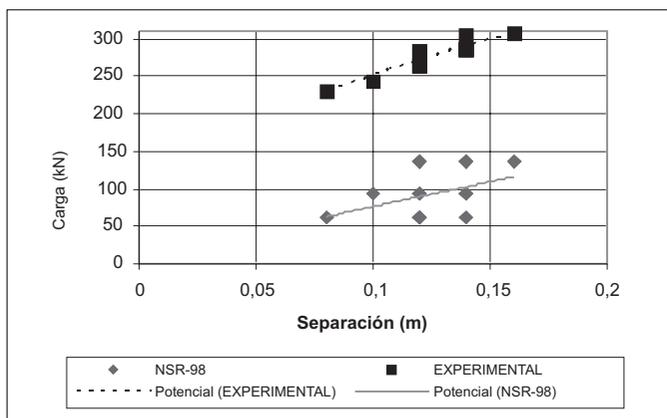
Comparación de ecuaciones

Como se puede ver en las Figuras 12 a y b, los valores obtenidos experimentalmente son mayores a los esperados teóricamente utilizando la ecuación establecida en la NSR-98 (para conectores tipo espigo), lo que indica una mayor resistencia de los conectores tipo tornillo.

La diferencia entre las cargas es notable, la cual varía entre 100kN y 200kN para la gráfica carga vs. diámetro y entre 150kN a 200kN para la de carga vs. separación, mostrando un aumento significativo de la resistencia de los conectores, lo cual influye en la sobrerresistencia de las secciones.



a.



b.

Figura 12. Variación entre la tendencia experimental y la obtenida por ecuación; a) curva carga frente a diámetro; b) curva carga frente a separación

Conclusiones

La resistencia de los conectores tipo tornillo grado 2, se encuentra influenciada principalmente por el diámetro y la resistencia a la compresión del concreto, de acuerdo con las pruebas y los análisis realizados. Con base en ellos se establecieron las siguientes ecuaciones propuestas para conectores de cortante tipo tornillo grado 2:

Para separaciones menores a 0,12 m:

$$P = 1.1\sqrt{f'_c E_c \phi n}$$

Para separaciones mayores o iguales a 0,12 m:

$$P = \sqrt{f'_c E_c \phi n}$$

Existe una resistencia mayor a la esperada de los conectores tipo tornillo, de acuerdo con las ecuaciones formuladas empíricamente y las establecidas en la NSR-98, de aproximadamente el 200%. Esta sobrerresistencia puede deberse a las diferentes propiedades mecánicas del material del espigo y del tornillo, ya que para espigos de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ " el esfuerzo último a tensión es de aproximadamente 420 MPa (valor tomado de catálogo de Nelson Stud) y para los tornillos el esfuerzo último a tensión es mayor a 468 MPa (de acuerdo con los ensayos realizados a los tornillos); también puede atribuirse algún porcentaje a la adherencia entre concreto y conector, debida tanto a la rosca del tornillo como a la forma hexagonal de la cabeza del mismo.

La carga última en los conectores de cortante tipo tornillo, de acuerdo con la relación entre carga y desplazamiento, está dada por la siguiente expresión:

$$P_u = 3.2\Delta$$

Los tornillos como conectores de cortante pueden establecerse dentro de los conectores rígidos, los cuales producen falla en la soldadura o en el concreto a causa de la concentración de esfuerzos en las zonas circundantes al tornillo. Por lo tanto, no es recomendable la utilización de las ecuaciones para conectores de cortante tipo espigo en el diseño de las secciones compuestas con conectores de cortante tipo tornillo.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la Dirección de Investigación Sede Bogotá (DIB) de la Universidad Nacional de Colombia, quienes financiaron la investigación

Nomenclatura

P: resistencia de conectores tipo tornillo [kN]

f'_c : resistencia a compresión del concreto [MPa]

E_c : módulo de elasticidad del concreto [MPa]

ϕ : diámetro del conector tipo tornillo [m]

n : número de conectores tipo tornillo

P_u : carga última [kN]

Δ : deformación unitaria * 10^{-2}

S : separación entre conectores tipo tornillo [m]

Bibliografía

AISC., Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, Colombia, AISC, 2000.

Allan, B., Yen, B. T., Slutter, R. G., and Fisher, J. W., Comparative Tests on Composite Beams with Formed Metal Deck., Fritz Engineering Laboratory, Report No. 200.76.458.1, Bethlehem, PA., Lehigh University, 1976.

Caro, J. y Muñoz, D., Comportamiento a flexión del sistema conformado por un perfil MM y una losa aligerada compuesta por concreto, perfil omega y bloque de arcilla., Tesis presentada a la Universidad Nacional de Colombia, para optar por el grado de Ingeniero Civil, 2003.

Chinn, J., Pushout Tests on Lightweight Composite Slabs., Engineering Journal, AISC, Vol. 4, 1965, pp. 129-134.

Davies, C., Small-Scale Push-Out Tests on Welded Stud Shear Connectors., Journal Concrete, Sept. 1967, pp. 311-316.

Goble, G. G., Shear Strength of Thin Flange Composite Specimens., Engineering Journal, Vol. 5, 1968, pp. 62-65.

Ollgaard, J. G., Slutter, R. G., and Fisher, J. W., Shear Strength of Stud Connectors in Lightweight and Normal-Weight Concrete., Engineering Journal, AISC, Vol. 8, 1971, pp. 55-64.

Slutter, R. G. and Driscoll, G. C., Research on Composite Design at Lehigh University Proceedings., National Engineering Conference, AISC, May, 1961

Slutter, R. G., and Driscoll, G. C., Flexural Strength of Steel-Concrete Composite Beams., Journal Structural, Div., Vol. 2, 1965, pp. 71-99.

Viest, I. M., Test of Stud Shear Connectors Parts I, II, III y IV., Test Data, Nelson Stud Welding, Lorain, Ohio, 1956.

novedades Alfaomega Colombiana S.A.



ELECTRÓNICA DIGITAL FÁCIL
Para electricistas y técnicos de mantenimiento

RUIZ VASSALLO, Francisco
Coedición: Alfaomega-Copyright

Resumen del contenido:

El sistema de numeración binario, base de la electrónica digital – Puertas lógicas AND y OR – Puerta lógica NOT y buffer – Puertas lógicas NAND y NOR – Puertas lógicas EOR y ENOR – Circuitos integrados (I-clasificaciones) – Circuitos integrados (II-códigos de identificación y encapsulados) – Circuitos integrados (III-características técnicas de los circuitos integrados digitales) – Circuitos integrados (IV- puertas lógicas integradas) – Disparador Schmitt – Operadores universales y puertas configurables de función múltiple – Operadores lógicos complejos – Generadores de impulsos (relojes) – Operadores lógicos secuenciales (I-memorias) – Operadores lógicos secuenciales (II-registros de almacenamiento) – Operadores lógicos secuenciales (III-contadores) – Codificadores y decodificado.



ELECTRÓNICA DIGITAL Teoría, Problemas y Simulación

ACHA, Santiago y otros
Coedición: Alfaomega-RaMa

Resumen del contenido:

Introducción a la lógica digital - Circuitos combinacionales - Circuitos secuenciales. Biestables - Circuitos secuenciales. Sistemas asíncronos - Circuitos secuenciales. Sistemas síncronos - Circuitos secuenciales. Registros y contadores - Relojes y temporizadores - Memorias de semiconductores - Dispositivos lógicos programables - Introducción a la síntesis con VHDL - Apéndices: - A. Contenido del CD - B. Lista de ejemplos - C. Bibliografía.

Adquiera nuestros textos en el punto de venta **Alfaomega Carrera 15 No 64a - 29** o en las principales librerías del país.

Afiliarse a nuestro **CLUB DEL CONOCIMIENTO** a través de nuestra página web, y reciba descuentos en nuestro punto de venta, contenidos actualizados vía Internet, información de novedades, prioridad en productos promocionales y entregas a domicilio sin costo adicional.

Visite nuestra página Web:
www.alfaomega.com.co