

PROYECTO SENACYT COL 006 - 007
“Fundamentación experimental de sistemas estructurales
y productos para el desarrollo competitivo de la construcción compuesta”

INFORME PARCIAL.

Caracterización experimental de distintos tipos de conectores de cortante en vigas de acero con losa de hormigón.

Equipo investigador:

Dr. Oscar M. Ramírez Ríos, UTP
Dr. Rafael Larrúa, UC Cuba
Dr. Ramiro Vargas Vergara UTP
Dr. Francisco Yeomans Reyna, ITESM México
Ing. Carlos Nungaray ITESM México
Ing. Milagros Pinto Núñez, UTP

RESUMEN

En este informe se presentan los resultados y conclusiones de la fase experimental del proyecto SENACYT COL 06 – 007 “Fundamentación experimental de sistemas estructurales y productos para el desarrollo competitivo de la construcción compuesta”, desarrollado en la Universidad Tecnológica de Panamá.

La fase desarrollada estuvo orientada a la caracterización experimental del comportamiento bajo fuerza cortante aplicada monotónicamente de tres tipos de elementos conectores: asas verticales elaboradas a partir de barras lisas de acero soldable (Tipo B), canales laminados en caliente (Tipo C), y placas continuas (Tipo P); en presencia de lámina plegada perpendicular al eje de las vigas, o en losas macizas de concreto normal sin lámina colaborante.

La concepción del diseño del experimento, tiene como centro los ensayos monotónicos de especímenes con lámina plegada, según tres matrices independientes: una para cada tipo de conector, del tipo factorial 2^2 (dos factores con dos niveles), con una réplica. Lo anterior se complementa con el ensayo de especímenes con losa maciza bajo igual tipo de carga (4 para los conectores tipos B y C, y 6 para los conectores tipo P), para un total de 38 especímenes previstos.

Para satisfacer la concepción del ensayo, los especímenes se diseñaron en base al Anexo B del Eurocódigo 4. Cada espécimen está conformado por un elemento de viga de acero estructural correspondiente a un perfil estándar W 8 x 31 (de 700 mm de longitud), y dos elementos de losa de concreto simétricos con o sin lámina, con dimensiones de 650 x 600 x 150 mm para losa maciza, y de 650 x 600 x 100 mm para losa con lámina.

Las vigas de acero y los elementos de concreto se conectaron por medio de un conector de cortante instalado a cada lado de la pieza de acero. Se emplearon láminas colaborantes tipo “Correlosa” calibre 22 (0,6985 mm) con altura de nervadura de 2” (50,8 mm). En todos los especímenes de las series B y P se utilizó concreto de 28 MPa de resistencia a la compresión, mientras que en la serie C se utilizó adicionalmente concreto de 21 MPa, por ser la resistencia del concreto uno de los parámetros a ser estudiados en este proyecto.

Todos los especímenes fueron cargados monotónicamente con incrementos entre 3 y 6 kN, los cuales se escogieron con base a la capacidad de carga esperada. Los especímenes fueron inicialmente cargados hasta aproximadamente el 40 % de la capacidad máxima esperada, a partir de la cual se realizaron detenciones en la prueba para evaluar y registrar la evolución del daño (i.e., marcación del inicio y propagación de grietas, desprendimiento de láminas, entre otros).

Todos los especímenes fueron instrumentados de manera similar, garantizándose mediciones digitales y continuas de la carga aplicada y los deslizamientos relativos tanto longitudinales como transversales. Adicionalmente, se monitoreó la evolución del agrietamiento.

En este informe se describen los modos de falla observados de los especímenes, la carga que produce el primer agrietamiento, y la carga última. Se presentan también las curvas de carga vs deslizamiento de cada uno de los lados de los especímenes, así como las curvas de carga vs deslizamiento promedio. Como complemento analítico de la data experimental obtenida, se presenta el procesamiento estadístico de los resultados en correspondencia con el diseño del experimento. Finalmente, se realiza una valoración integral de los resultados para cada serie, y se ofrecen recomendaciones suplementarias para el mejor uso los conectores estudiados.

2. Introducción

La experimentación ha desempeñado un importante rol en el desarrollo de los métodos de diseño de las estructuras compuestas y en particular de las conexiones. Existe una amplia gama de ensayos desarrollados para estudiar el comportamiento de los elementos compuestos y las conexiones para vigas y losas compuestas, entre los cuales pueden citarse: ensayos “push out”, ensayos “pull out”, ensayos de vigas, ensayos de losas a escala completa y ensayo de fajas de losas. [11, 12, 14, 15, 22, 26, 27, 28, 29, 32, 34, 36, 37, 39, 44, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56].

En este informe se presentan los resultados y conclusiones de la fase experimental del proyecto SENACYT COL 06 – 007 “Fundamentación experimental de sistemas estructurales y productos para el desarrollo competitivo de la construcción compuesta”, desarrollado en la Universidad Tecnológica de Panamá, con participación de investigadores de la Universidad de Camagüey, Cuba, y del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México.

La fase desarrollada estuvo orientada a la caracterización experimental del comportamiento bajo carga monotónica de tres tipos de conectores de cortante: asas verticales elaboradas a partir de barras lisas de acero (Tipo B), canales laminados en caliente (Tipo C), y placas continuas (Tipo P), en presencia de lámina plegada perpendicular al eje de las vigas, o en losas macizas de concreto normal.

Adicionalmente, la experimentación ha sido conducida de cara a la utilización de resultados para calibrar modelos numéricos, lo que resulta un valor añadido de los resultados experimentales [6, 7, 8, 9, 10, 19, 20, 21]. Además se complementan los resultados propios del proyecto, con información de ensayos previos desarrollados por otros investigadores a nivel internacional. [46, 52, 53]

3. Diseño del experimento.

3.1 Alcance y características generales de los especímenes.

La concepción general del diseño del experimento, tiene como centro los ensayos monotónicos de especímenes con lámina plegada, según tres matrices independientes, una para cada tipo de conector, del tipo factorial 2^2 (dos factores con dos niveles), con una réplica.

Lo anterior se complementa con el ensayo de especímenes con losa maciza bajo igual tipo de carga (4 para los conectores tipos B y C, y 6 para los conectores tipo P), para un total de 40 especímenes previstos.

Para satisfacer la concepción de este ensayo se diseñaron los especímenes, basados en el Anexo B del Eurocódigo 4, cada uno de ellos conformados por un elemento de viga de acero de un perfil estándar W 8 x 31, con una longitud de 700 mm; y dos elementos de losa de concreto simétricos con o sin lámina, según corresponda, con dimensiones de 650 x 600 x 150 mm para losa maciza, y de 650 x 600 x 100 mm para losa con lámina. [22]

Los especímenes con lámina colaborante han sido concebidos con dimensiones similares a los especímenes sin lámina, para mayor facilidad en los dispositivos de ensayos, menor tamaño de las piezas, menor cantidad de conectores por pieza, y una mayor economía de materiales. Para

lograr este objetivo, no se trabaja con el ancho total de las láminas empleadas, sino con la porción de éstas que ofrezca un único valle en contacto con el perfil, lo cual constituye la zona de estudio.

La pieza de acero y los elementos de concreto se conectan por medio de un conector a cada lado de la pieza de acero. Se emplean láminas colaborantes del tipo “Correlosa” calibre 22 (0,6985 mm) con altura de la nervadura de 50,8 mm. En todos los especímenes de las series B y P se utilizó concreto de 28 MPa de resistencia a la compresión, mientras que en la serie C se utilizó adicionalmente concreto de 21 MPa, por ser la resistencia del concreto uno de los parámetros a ser estudiados.

La Tabla 1 muestra los parámetros y niveles considerados para cada tipo de conector.

Tabla 1. Parámetros y niveles

Tipo de conector	Parámetros	Denominación	Nivel máximo (+1)	Nivel mínimo (-1)
B	Posición	X1	Fuerte o favorable (F)	Débil o desfavorable (D)
	Separación entre barras (mm)	X2	150 mm	50 mm
C	Resistencia del concreto(MPa)	X1	21 MPa	28 MPa
	Ancho (mm)	X2	150 mm	50 mm
P	Espesor (mm)	X1	12, 7 mm	6,35 mm
	Barras pasantes	X2	si	no

En los conectores tipo B, el parámetro **posición** se refiere a la ubicación del conector en el valle de la lámina, denominándose fuerte o favorable (F) cuando se ubica en la zona más alejada a la base del espécimen y débil o desfavorable (D) en el caso contrario. Esta denominación toma como referencia el tratamiento dado al asunto en los estudios sobre conectores tipo perno. [5, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 27, 30, 31, 33, 35, 36, 42, 45, 47, 48, 49]. El parámetro **separación entre barras** se refiere a la separación entre las partes de las asas, que se unen en sus extremos a la pieza de acero. (Ver Figura 1)

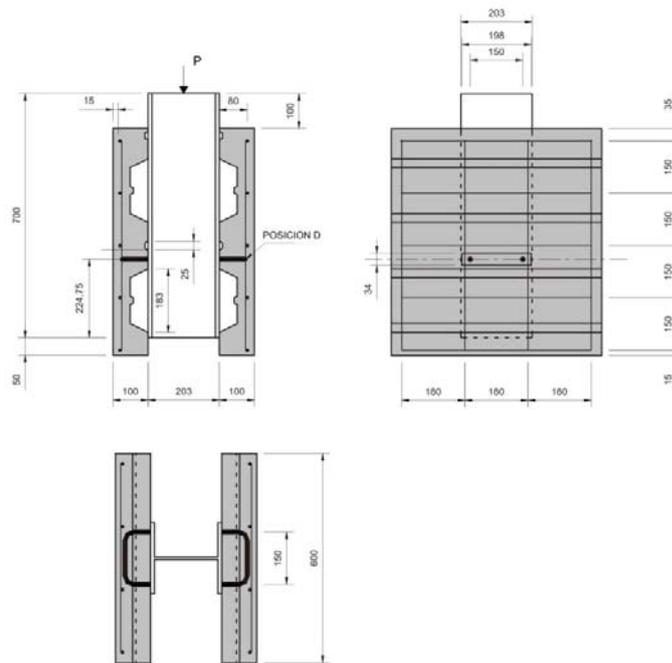


Figura 1. Esquema de espécimen con lámina perpendicular y conector tipo B en posición D con 150 mm de separación entre barras.

En los conectores tipo P, el parámetro barras pasantes, se refiere a la presencia o no de barras de 10 mm de diámetro, que formando parte del refuerzo de la losa, pasan por la base de la cresta del conector. (Ver Figura 2) [43, 50, 52, 53]

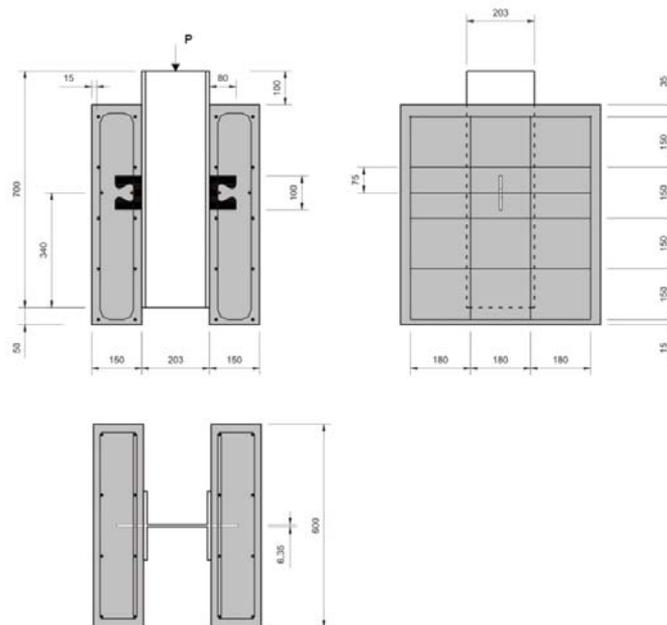


Figura 2. Esquema de espécimen con losa maciza y conector tipo P con barra pasante.

En el Anexo A, se presentan todos los esquemas de los especímenes desarrollados en la experimentación.

La Tabla 2 muestra los especímenes de prueba utilizados durante la calibración y ajuste del dispositivo de ensayo.

Tabla 2. Detalles de los especímenes de prueba

Espécimen	Detalles
BLP-1, BLP-2	Posición Fuerte, Separación de 50 mm
CLP-3, CLP-4	Ancho de 50 mm f'c= 21 MPa
PLP-5	Espesor de 12.7 mm Sin pasador
PLP-6	Espesor de 6.35 mm Sin pasador
PLP-7, PLP-8	Espesor de 6.35 mm Con pasador
PSP-9	Espesor de 6.35 mm Sin pasador

2.2 Características específicas de los especímenes.

Seguidamente, las Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 presentan la denominación y las características específicas de cada uno de los especímenes ensayados.

Tabla 3. Características específicas de los especímenes. Conector Tipo B

Denominación del espécimen	X1 Posición	X2 Separación (mm)
BL- 1	D	50
BL- 2	F	50
BL- 3	D	150
BL- 4	F	150
BL- 5	D	50
BL- 6	F	50
BL- 7	D	150
BL- 8	F	150
BS- 9	-	50
BS- 10	-	50
BS- 11	-	50
BS- 12	-	50

B: conector tipo barra L: con lámina; S: sin lámina

Nota: En losa maciza (especímenes 9, 10, 11 y 12) no procede el concepto de posición fuerte o débil, que es concerniente a conectores solamente a conectores en presencia de lámina.

Tabla 4. Características específicas de los especímenes. Conector tipo C

Denominación del espécimen	X1 Resistencia a la compresión del concreto (MPa)	X2 Ancho del conector (mm)
CL- CE - 1	21	50
CL- CE - 2	28	50
CL- CE - 3	21	150
CL- CE - 4	28	150
CL- CE - 5	21	50
CL- CE - 6	28	50
CL- CE - 7	21	150
CL- CE - 8	28	150
CS- CE - 9	21	50
CS- CE -10	21	50
CS- CE -11	21	50
CS- CE -12	21	50

C: conector tipo canal L: con lámina; S: sin lámina; CE: carga estática
En todos los especímenes se utilizarán conectores canal con sección C 3 x 4,1.

Tabla 5. Características específicas de los especímenes. Conector tipo P

Denominación del espécimen	X1 Espesor de la placa (mm)	X2 Barras pasantes
PL- 1	6,35	-
PL- 2	12, 7	-
PL- 3	6,35	d=10mm
PL- 4	12, 7	d=10mm
PL- 5	6,35	-
PL- 6	12, 7	-
PL- 7	6,35	d=10mm
PL- 8	12, 7	d=10mm
PS- 9	6,35	-
PS- 10	6,35	-
PS- 11	6,35	d=10mm
PS- 12	6,35	d=10mm
PS- 13	6,35	d=10mm
PS- 14	6,35	d=10mm

P: conector tipo placa L: con lámina; S: sin lámina

4. Preparación y ejecución de ensayos.

4.1 Preparación de los especímenes.

Todos los conectores fueron soldados directamente sobre las piezas de acero, para lo que fue necesario realizar cortes en la lámina. En las piezas sin lámina se evitó la adherencia en la interface entre el ala de la viga metálica y el concreto mediante lubricación. [22, 32, 56]. Después de colocada la armadura de refuerzo, cada losa fue vaciada en posición horizontal, en fechas diferentes, utilizando vibrador de aguja. Se controló por separado la calidad del concreto de ambas losas para lo que fueron tomados cilindros de concreto representativos. La Figura 3, muestra los especímenes CL- 7 y CS- 9 en la etapa de fabricación.

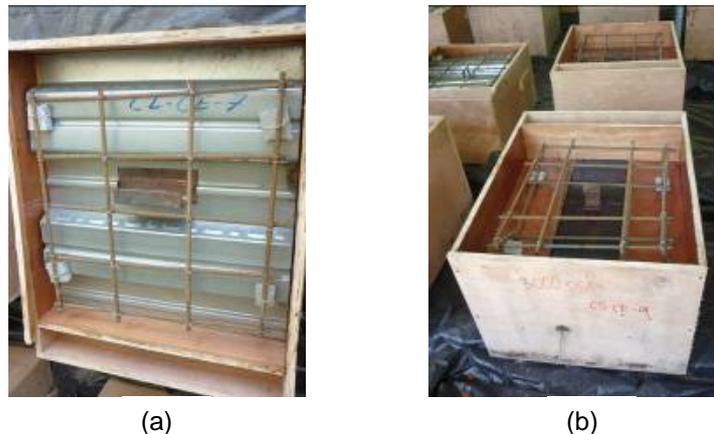


Figura 3. Fabricación de especímenes. (a) Especimen CL- 7 (b) Especimen CS- 9

En el Anexo B muestra de forma detallada el diseño de la formaleta utilizada en los especímenes.

De igual forma, en el Anexo C se muestra el armado y vaciado de los especímenes.

4.2 Dispositivo de carga e instrumentación.

Los ensayos fueron realizados en el muro-piso de reacción del Centro Experimental de Ingeniería (CEI), de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

En el momento del ensayo los especímenes fueron colocados sobre una pieza delgada de madera, dispuesta sobre una placa de acero de 50,8 mm, que a su vez está apoyada en un sobre-piso de mortero estructural de 170 mm de altura sobre el piso de reacción. Las losas fueron restringidas lateralmente en la parte superior e inferior para asegurar que el espécimen se mantuviera en posición vertical durante el ensayo. Sobre el perfil de acero del espécimen se colocó una pieza de acero de 25,4 mm, para distribuir la carga aplicada por un gato hidráulico de 1000 kN de capacidad. Fueron utilizadas dos celdas de cargas, de 1335 kN y 330 kN de capacidad, en las series C y P, y en la serie B, respectivamente

Los especímenes fueron todos instrumentados de manera similar. Se utilizaron transductores lineales de desplazamiento (LVDTs) instalados simétricamente para medir el deslizamiento relativo longitudinal entre las alas del perfil y la losa de concreto. Adicionalmente, fueron

instalados dos LVDTs al nivel de los conectores, para medir la separación transversal de las losas. [11, 22, 26, 28, 32, 46, 47, 52, 53]

En el Anexo D podemos encontrar detalles del dispositivo de carga e instrumentación, detallado de la siguiente manera: D1 – Equipos utilizados durante los ensayos, D2: Detalles de la construcción del marco de prueba y D3: Detalles de los dispositivos de ensayos utilizados.

5. Desarrollo del ensayo y resultados.

5.1 Ejecución de ensayos.

Todos los especímenes fueron cargados monotónicamente, con incrementos que fueron seleccionados en función de la capacidad de carga esperada. Estos incrementos oscilaron entre 3 y 6 kN y fueron aplicados hasta aproximadamente el 40 % de la capacidad máxima esperada. Al llegar a este punto, se realizaron detenciones en la prueba para evaluar y registrar la evolución de los daños observados (lo que incluyó marcación del inicio y propagación de grietas, desprendimiento de láminas, entre otros). [22, 46, 47]. En la Figura 4, se muestra una vista general de la prueba y detalles del dispositivo de ensayo.

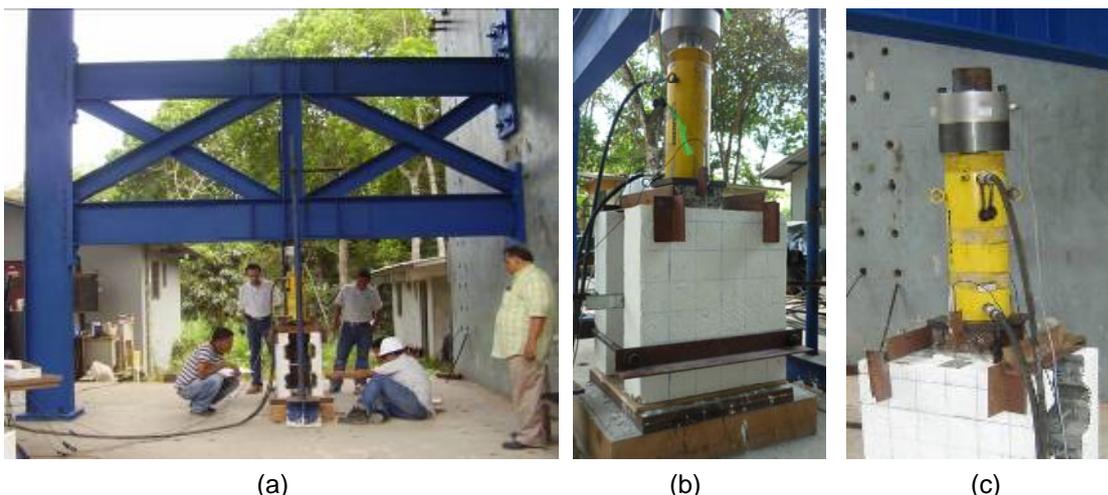


Figura 4. Ejecución de ensayos. (a) Vista general (b) Especímen instrumentado (c) Dispositivo de carga.

5.2 Resultados de ensayos a materiales componentes.

Se tomaron probetas representativas de los materiales utilizados durante el experimento, tales como cilindros de concreto, probetas de barras, canales, placas y láminas. La norma utilizada en los ensayos de cilindros de concreto fue ASTM C39-05 y para las probetas de acero se utilizaron las normas ASTM A 36/ A615M-08b y ASTM A370-0b. [2, 3, 4]. Los resultados de los ensayos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades de los materiales componentes.

Elemento	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	F_u (MPa)	Módulo de deformación (MPa)
Conector tipo B	284,00	-	461,50	199 948,00
Conector tipo C	343,50	-	491,50	210 913,50
Conector tipo P	273,00	-	410,00	143 125,00
Lámina	286,00	-	347,00	39 420,00
Concreto de 28 MPa estimado (primer vaciado)	-	32.60	-	26524,80
Concreto de 28 MPa estimado (segundo vaciado)	-	27.50	-	19568,30
Concreto de 21 MPa estimado (primer vaciado)	-	22,00	-	22408,60
Concreto de 21 MPa estimado (segundo vaciado)	-	21,90	-	21254,90

En el Anexo E se muestran detalles de las pruebas de control de calidad de los materiales utilizados en la experimentación.

5.3 Resultados de ensayos a especímenes.

5.3.1 Conectores tipo B.

Para los especímenes con conector tipo B en losa con lámina, la primera grieta se presentó en valores de entre el 40% y el 65% de la capacidad resistente máxima. El patrón de daños observado es consistente entre los especímenes, y los conectores presentan notables deformaciones respecto a su posición inicial. La Figura 5, muestra el patrón de grietas y las deformaciones de los conectores que prevalecen en los ensayos de este tipo de conector.

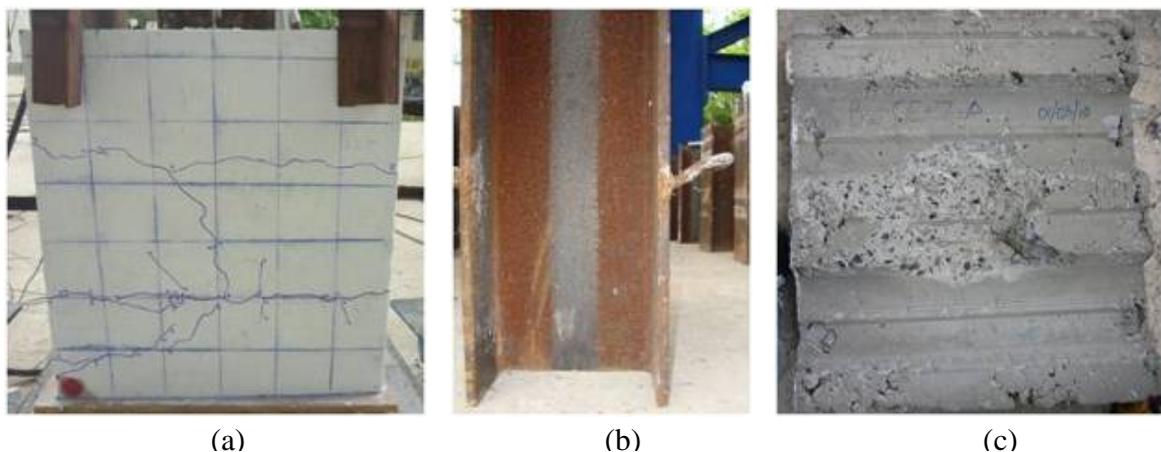


Figura 5. Especímenes con conector tipo B en losa con lámina (a) Patrón de daños, (b) Conector después del ensayo, (c) Cara Interior de losa después del ensayo.

Para más detalles de las imágenes de los ensayos de cada espécimen con conector tipo B en losa con lámina, véase ANEXO F.1.1.

La Figura 6 muestra el comportamiento de todos los especímenes con conector tipo B en losa con lámina.

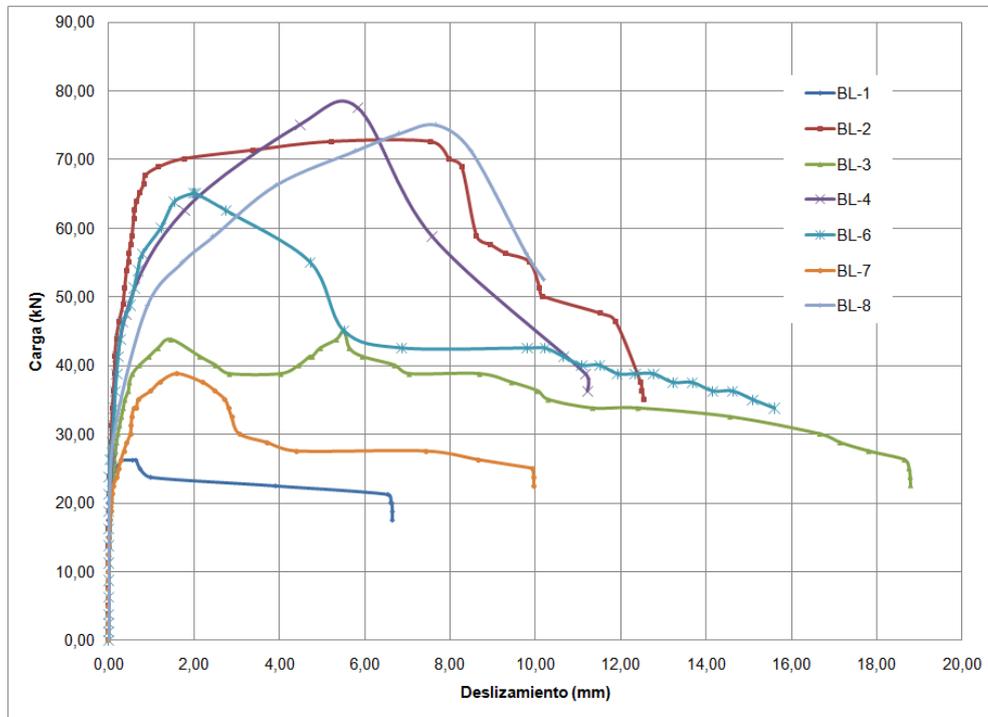


Figura 6. Curva Carga - Deslizamiento de todos los especímenes con conector tipo B en losa con lámina.

En los Anexos G.1.1 y H.1.1 se muestran los registros y gráficos de cada uno de los especímenes con conector tipo B en losa con lámina, respectivamente.

En los especímenes con conector tipo B en losa maciza, la primera grieta se registra a valores mayores del 65% de la capacidad resistente máxima. La falla predominante es el de corte en los conectores en su base, en ambas losas, mientras el concreto no presenta notables fisuras y/o grietas. La Figura 7, muestra el patrón de daños en el concreto y los conectores en este tipo de espécimen.

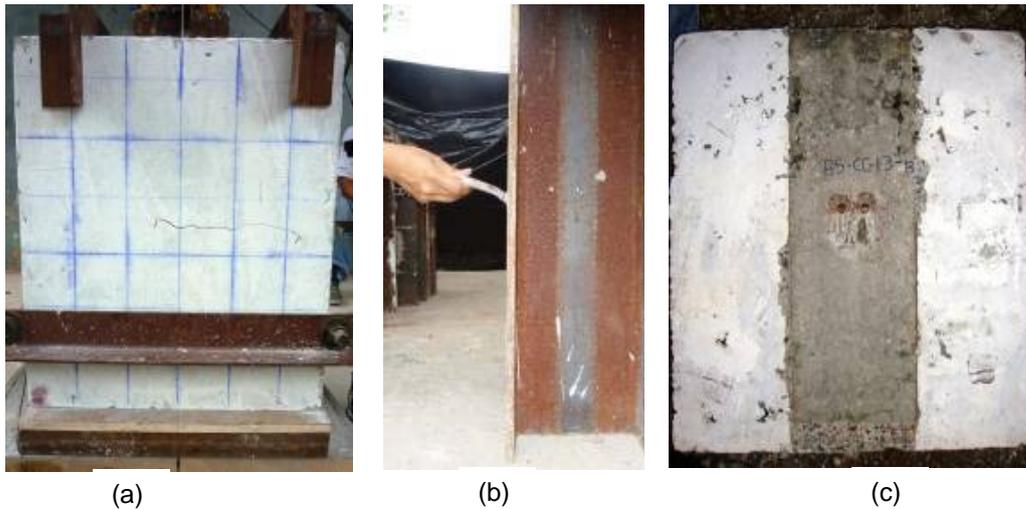


Figura 7. Especimen con conector tipo B en losa maciza (a) Patrón de daños, (b) Conector después del ensayo, (c) Cara interior después del ensayo.

Para más detalles de las imágenes de los ensayos de cada espécimen con conector tipo B en losa maciza, véase ANEXO F.1.2.

La Figura 8 muestra el comportamiento de todos los especímenes con conector tipo B en losa maciza.

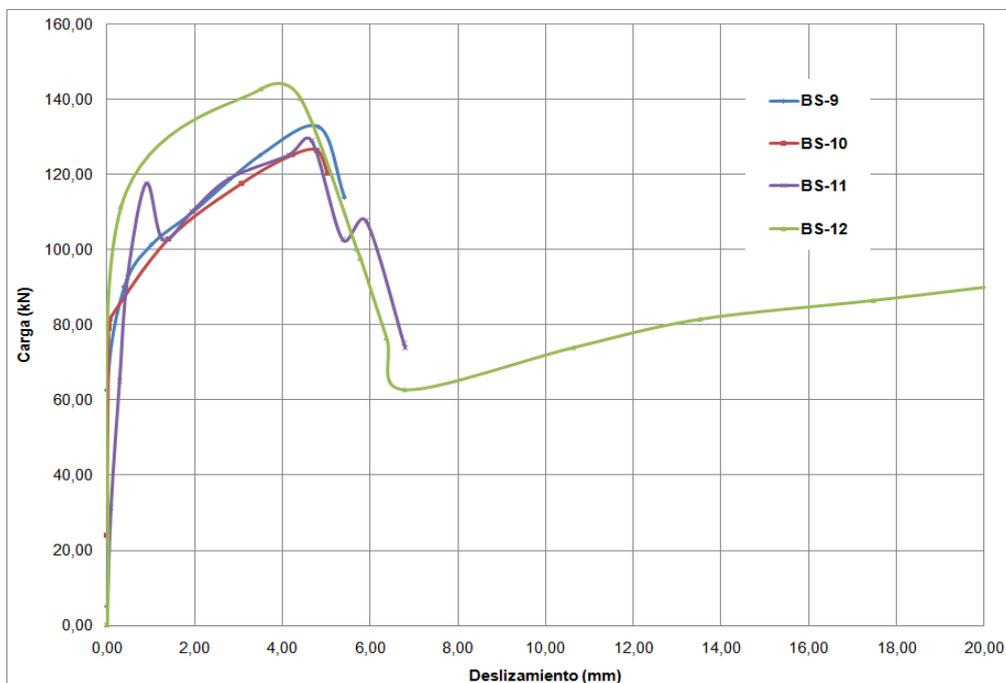


Figura 8. Curva Carga – Deslizamiento de todos los especímenes con conector tipo B en losa maciza.

En los Anexos G.1.2 y H.1.2 se muestran los registros y gráficos de cada uno de los especímenes con conector tipo B en losa maciza, respectivamente.

En la Tabla 7, se muestra la capacidad resistente máxima por conector en los especímenes con conectores tipo B. No se toma en cuenta el resultado del espécimen BL-5 por daños recibidos producto de mala manipulación en el proceso de carga.

Tabla 7. Capacidad resistente máxima de los especímenes con conectores tipo B

CONECTOR TIPO BARRA											
Especimen	Primera Grieta		Capacidad Resistente		90% Capacidad Resistente		Capacidad Resistente al 40%		Capacidad Resistente al 60%		Capacidad a 6 mm de desliz. prom. (kN)
	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	
BL-1	13.76	0.050	26.28	0.648	23.65	1.100	10.51	0.000	15.77	0.000	21.70 (D)
BL-2	35.81	0.110	72.64	7.548	65.38	8.400	29.06	0.090	43.58	0.272	72.64 (M)
BL-3	18.77	0.050	45.05	5.524	40.54	6.700	18.02	0.060	27.03	0.400	42.00 (D)
BL-4	43.79	0.280	77.58	5.840	69.82	6.600	31.03	0.170	46.55	0.410	76.50 (D)
BL-5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
BL-6	30.03	0.100	65.07	2.040	58.56	4.000	26.03	0.026	39.04	0.200	43.50 (D)
BL-7	25.02	0.097	38.79	1.608	34.91	2.740	15.52	0.020	23.27	0.205	28.50 (D)
BL-8	33.78	0.190	75.08	7.670	67.57	8.750	30.03	0.150	45.05	0.750	72.00 (A)
BS-9	77.65	0.145	132.78	4.832	119.43	5.250	53.08	0.000	79.62	0.000	*
BS-10	67.64	0.02	126.45	4.795	113.81	-	50.58	0.020	75.87	0.040	*
BS-11	**	**	142.71	3.813	128.44	4.600	57.08	0.000	85.63	0.040	88.50 (D)
BS-12	97.74	0.200	128.95	4.680	116.06	5.200	51.58	0.220	77.37	0.380	105.00 (D)

(A) Ascenso, (D) Descenso, (M) Máximo

B: conector tipo barra L: con lámina; S: sin lámina

* No se alcanza el valor de 6 mm.

** No se produjo grietas.

5.3.2 Conectores tipo C

Para los especímenes de conectores tipo C en losa con lámina, la primera grieta se registra en valores de entre el 30% y el 40% de la capacidad resistente máxima, a excepción del espécimen CL-5 en el cual se presentó al 75% de la misma. El patrón de grietas en el concreto es consistente entre los especímenes y el conector presenta grandes deformaciones respecto a su posición inicial. La Figura 9, ilustra el patrón de daños en el concreto y el conector registrado en estos especímenes.

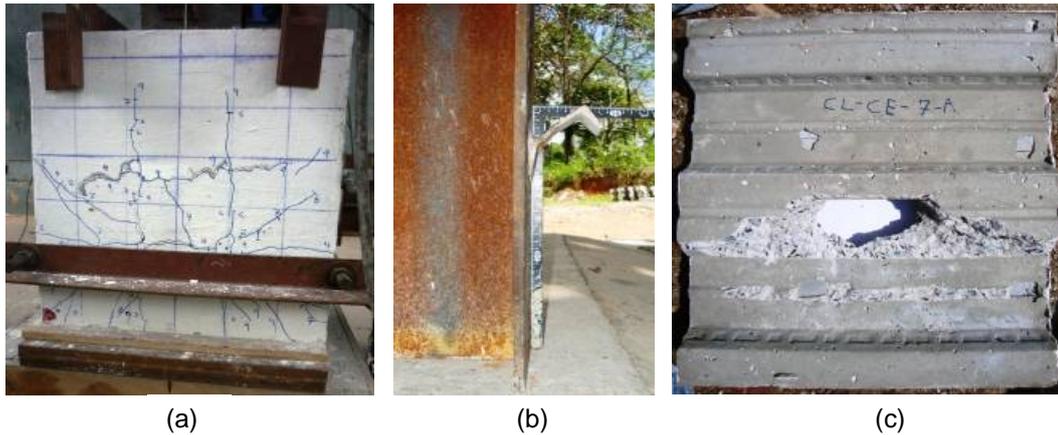


Figura 9. Especímen con conector tipo C en losa con lámina, (a) Patrón de daños, (b) Conector después del ensayo, (c) Cara Interior de la Losa luego del ensayo.

Para más detalles de las imágenes de los ensayos de cada espécimen con conector tipo C en losa con lámina, véase ANEXO F.2.1.

La Figura 10 muestra el comportamiento de todos los especímenes con conector tipo C en losa con lámina.

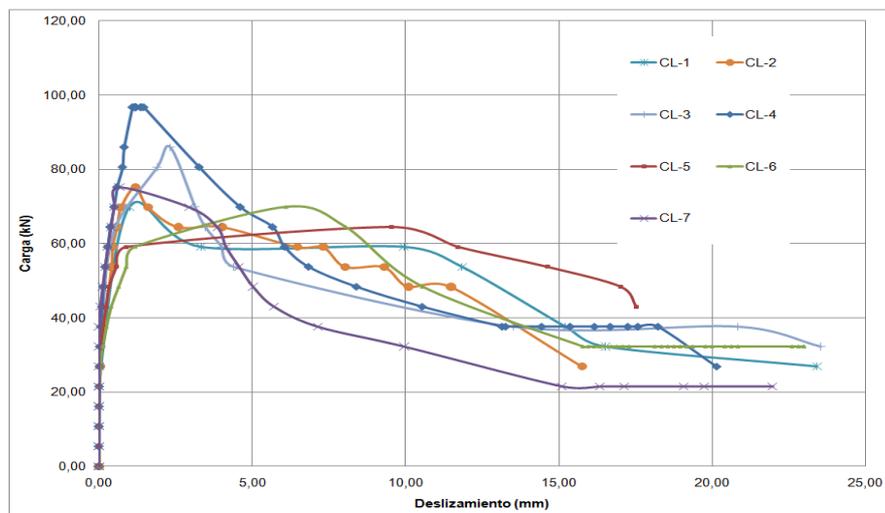


Figura 10. Curva Carga – Deslizamiento de todos los especímenes con conector tipo C en losa con lámina.

En los Anexos G.2.1 y H.2.1 se muestran los registros y gráficos de cada uno de los especímenes con conector tipo C en losa con lámina, respectivamente.

Para los especímenes de conectores tipo C en losa maciza, la primera grieta se presenta a valores mayores que el 85 % de la capacidad resistente máxima. El tipo de falla presentado en todos los especímenes es el de corte de los conectores en la base de los mismos en ambas losas.

Figura 11 muestra el patrón de daños en el concreto y los conectores en este tipo de espécimen.

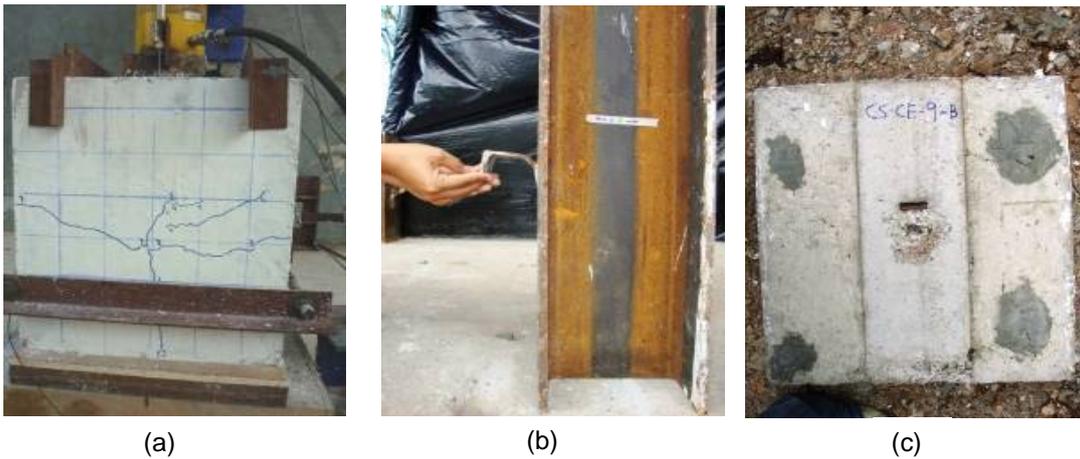


Figura 11. Especimen con conector tipo C en losa maciza (a) Patrón de daños, (b) Conector después del ensayo, (c) Cara interior después del ensayo.

Para más detalles de las imágenes de los ensayos de cada espécimen con conector tipo C en losa maciza, véase ANEXO F.2.2.

La Figura 12 muestra el comportamiento de todos los especímenes con conector tipo C en losa maciza.

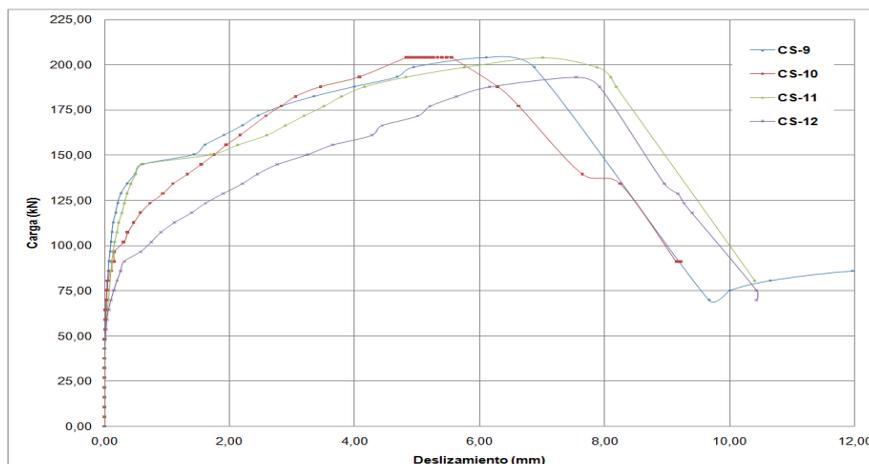


Figura 12. Curva Carga – Deslizamiento de los especímenes con conector tipo Canal en losa

En los Anexos G.2.2 y H.2.2 se muestran los registros y gráficos de cada uno de los especímenes con conector tipo C en losa maciza, respectivamente.

En la Tabla 8, se muestra la capacidad resistente máxima por conector en los especímenes tipo C. No se toma en cuenta el espécimen CL-8 por deficiencias en el proceso de fabricación.

Tabla 8. Capacidad resistente máxima de los especímenes con conectores tipo C

CONECTOR TIPO CANAL											
Especimen	Primera Grieta		Capacidad Resistente		90% Capacidad Resistente		Capacidad Resistente al 40%		Capacidad Resistente al 60%		Capacidad a 6 mm de desliz. prom. (kN)
	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	
CL-1	21.48	0.005	69.80	1.004	62.80	2.400	27.92	0.04	41.88	0.350	58.8 (D)
CL-2	26.85	0.045	75.17	1.188	67.65	1.900	30.07	0.120	45.10	0.300	60.0 (D)
CL-3	37.59	0.120	85.91	2.329	77.32	2.850	34.36	0.090	51.54	0.220	50.05 (D)
CL-4	37.59	0.055	96.65	1.470	86.98	2.650	38.66	0.090	57.99	0.250	59.08 (D)
CL-5	48.33	0.470	64.43	9.539	57.99	12.800	25.77	0.020	38.66	0.150	63.20 (D)
CL-6	26.85	0.060	69.80	6.100	62.82	8.400	27.92	0.050	41.88	0.300	69.75 (A)
CL-7	26.85	0.000	75.18	0.672	67.66	3.600	30.07	0.020	42.11	0.100	42.0 (D)
CL-8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
CS-9	181.71	3.595	204.05	6.105	183.65	7.250	81.62	0.050	122.43	0.200	204 (A)
CS-10	187.94	3.640	204.05	5.548	183.65	6.450	81.62	0.060	122.43	0.750	184 (D)
CS-11	187.94	4.490	204.05	7.016	183.65	8.250	81.62	0.100	122.43	0.310	200 (A)
CS-12	155.72	4.155	193.31	7.540	173.98	8.200	77.32	0.180	115.99	1.230	186 (A)

(A) Ascenso, (D) Descenso

C: conector tipo canal L: con lámina; S: sin lámina

5.3.3 Conectores tipo P.

En los especímenes de conector tipo P, la primera grieta se presenta a valores de entre el 50 y el 75% de la capacidad resistente máxima. El patrón de grietas es consistente en los especímenes. Son notables las grandes deformaciones de los conectores, sobre todo en los de 6,35 mm y la falla predominante en el concreto. La Figura 13, muestra el patrón de daños en el concreto y los conectores de estos especímenes.



Figura 13. Especimen con conector tipo P en losa con lámina, (a) Patrón de daños. (b) Conector después del ensayo, (c) Cara interior de la losa luego del ensayo.

Para más detalles de las imágenes de los ensayos de cada espécimen con conector tipo P en losa con lámina, véase ANEXO F.3.1.

La Figura 14 muestra el comportamiento de todos los especímenes con conector tipo P en losa con lámina.

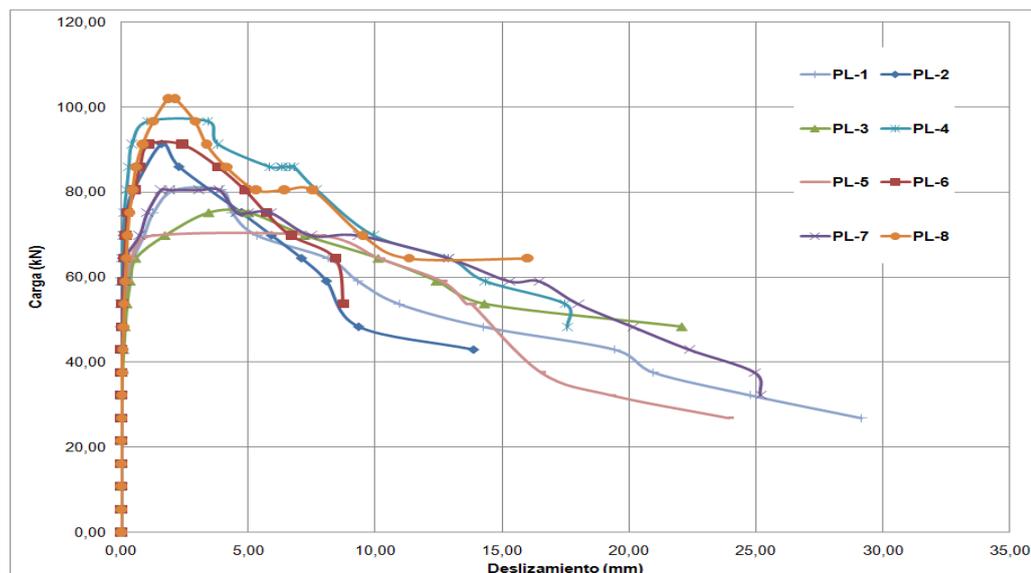


Figura 14. Curva Carga – Deslizamiento de todos los especímenes con conector tipo P en losa con lámina.

En los Anexos G.3.1 y H.3.1 se muestran los registros y gráficos de cada uno de los especímenes con conector tipo P en losa con lámina, respectivamente.

Para los especímenes de conector tipo P en losa maciza, la primera grieta se registra a valores mayores del 85% de la capacidad resistente máxima. Es predominante la falla por corte de los dientes de los conectores en al menos uno de los lados. La Figura 15 muestra el patrón de daños en el concreto y los conectores en este tipo de espécimen.

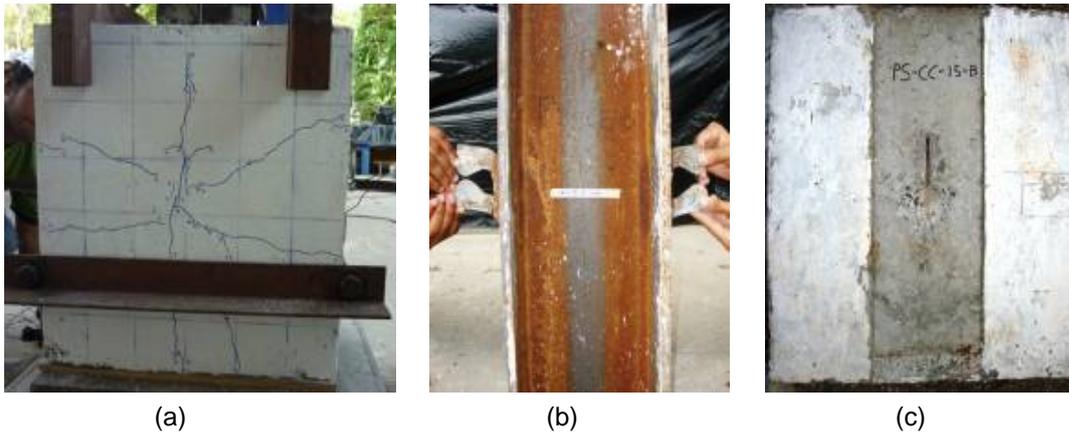


Figura 15. Especimen con conector tipo P en losa maciza, (a) Patrón de daños, (b) Conector después del ensayo, (c) Cara interior de la losa luego del ensayo.

Para más detalles de las imágenes de los ensayos de cada espécimen con conector tipo P en losa maciza, véase ANEXO F.3.2.

La Figura 16 muestra el comportamiento de todos los especímenes con conector tipo P en losa maciza

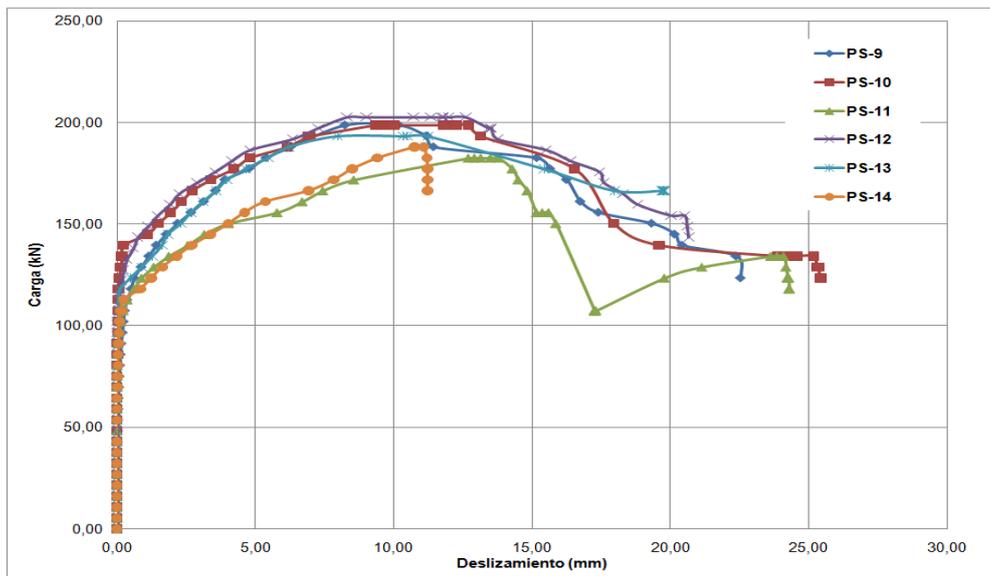


Figura 16. Curva Carga – Deslizamiento de todos los especímenes con conector tipo P en losa maciza.

En los Anexos G.3.2 y H.3.2 se muestran los registros y gráficos de cada uno de los especímenes con conector tipo B en losa maciza, respectivamente.

La Tabla 9 muestra la capacidad resistente máxima por conector en los especímenes tipo P.

Tabla 9. Capacidad resistente máxima de los especímenes con conectores tipo P.

CONECTOR TIPO PLACA											
Especimen	Primera Grieta		Capacidad Resistente		90% Capacidad Resistente		Capacidad Resistente al 40%		Capacidad Resistente al 60%		Capacidad a 6 mm de desliz. prom. (kN)
	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	Carga (kN)	Desliz. prom. (mm)	
PL-1	37.60	0.060	80.54	3.949	72.49	5.850	32.22	0.000	48.33	0.018	68.00 (D)
PL-2	53.71	0.030	91.28	1.600	82.15	3.400	36.51	0.000	54.77	0.100	69.00 (D)
PL-3	42.96	0.100	75.17	5.007	67.66	8.000	30.07	0.005	45.10	0.200	72.50 (D)
PL-4	75.18	0.145	96.65	3.418	86.99	5.500	38.66	0.000	57.99	0.000	86.00 (D)
PL-5	59.11	0.255	69.80	7.876	62.82	11.200	27.92	0.000	41.88	0.000	69.80 (M)
PL-6	59.00	0.085	91.28	2.408	82.15	4.600	36.51	0.000	54.77	0.050	73.00 (D)
PL-7	59.10	0.125	80.54	3.860	72.49	6.800	32.22	0.000	48.32	0.100	75.50 (D)
PL-8	59.07	0.190	102.02	2.130	91.82	3.300	40.81	0.100	61.21	0.200	80.00 (D)
PS-9	155.72	2.715	198.68	10.180	178.81	15.500	79.47	0.090	119.21	0.600	186.00 (A)
PS-10	193.93	8.220	198.68	12.693	178.81	16.000	79.47	0.000	119.21	0.070	184.00 (A)
PS-11	150.35	5.545	182.57	13.780	164.31	14.800	73.03	0.000	109.54	0.250	155.00 (A)
PS-12	182.60	5.570	202.63	12.610	182.37	16.500	81.05	0.000	121.58	0.150	190.00 (A)
PS-13	187.94	9.485	193.31	11.256	173.98	15.500	77.32	0.000	115.99	0.125	185.00 (A)
PS-14	144.98	3.575	187.94	11.100	169.15	7.400	75.18	0.023	112.76	0.228	163.00 (A)

(A) Ascenso, (D) Descenso, (M) Maximo

P: conector tipo placa L: con lámina; S: sin lámina.

5. Análisis y discusión de resultados.

A partir de los resultados de la capacidad resistente máxima de los especímenes con lámina, incluidos en las Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, se procedió al procesamiento estadístico de los mismos, con ayuda del programa "Statgraphics Centurión XV". Se determinó la significación de las variables independientes consideradas en el diseño del experimento para cada serie, en la variable dependiente (capacidad resistente máxima) para un nivel de confianza del 95%, y se contrastaron los resultados con las curvas carga deslizamiento derivadas del registro detallado del comportamiento de cada espécimen durante el ensayo.

5.1 Conectores tipo B

Se demuestra que las variables independientes **posición** ($p = 0,0004$) y **separación entre barras** ($p = 0,0349$), son significativas al 95 % de confianza en la variable dependiente **capacidad resistente máxima**. (Ver Figura 17 y Figura 18).

La Figura 19 ilustra el efecto de las variables independientes en el comportamiento carga – deslizamiento de los especímenes BL-1, BL-6, BL-7 y BL- 8, lo que es totalmente consistente con los resultados del procesamiento estadístico, incluido el mayor efecto de la **posición**. Son especialmente favorables los resultados de los especímenes con la combinación con 150 mm de separación y posición F. Por el contrario se alcanzan resultados notablemente desfavorables para la combinación con 50 mm de separación y posición D.

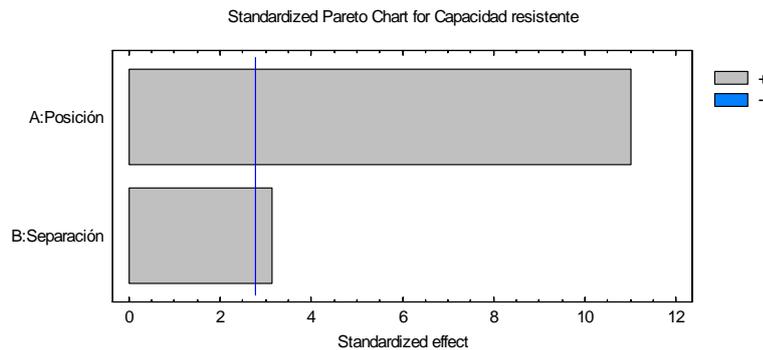


Figura 17. Significación de las variables independientes en la capacidad resistente.

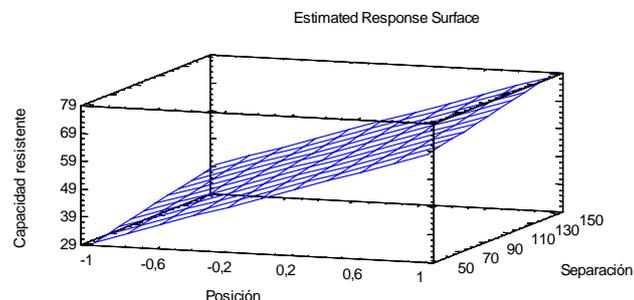


Figura 18. Superficie de respuesta.

El ANEXO I.1 contiene el procesamiento estadístico detallado de barras con lámina.

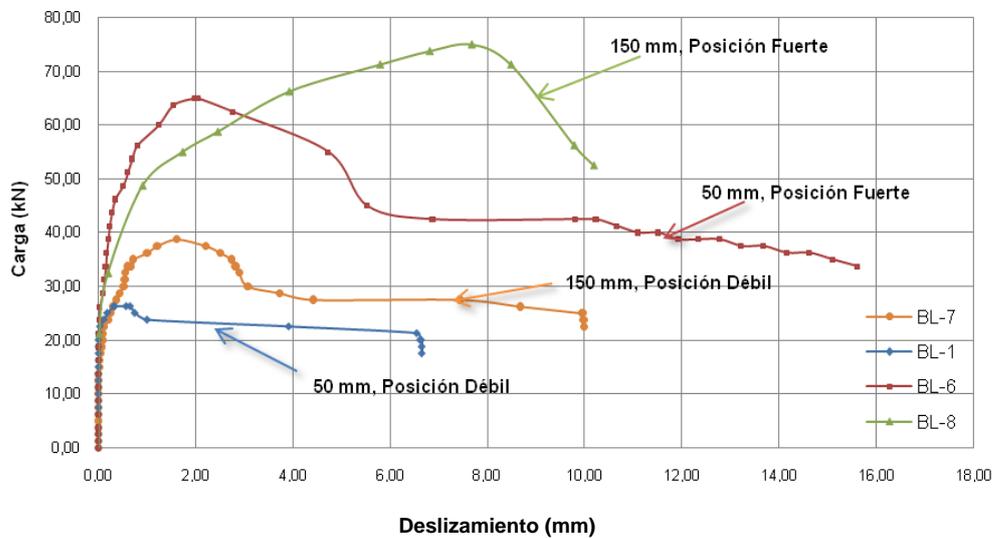


Figura 19. Curvas Carga-Deslizamiento de los especímenes BL-1, BL-6, BL-7 y BL- 8

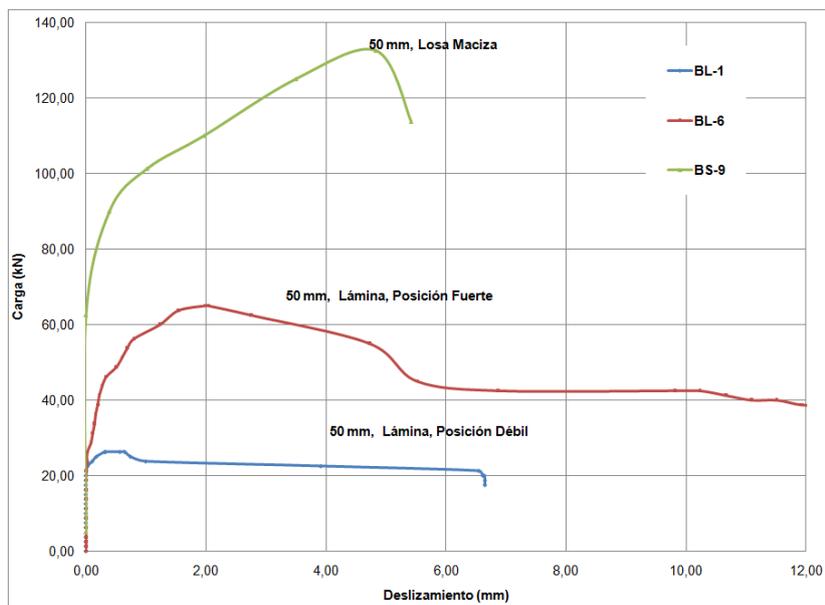


Figura 20. Curva Carga – Deslizamiento comparativa entre especímenes con conector tipo B. (BL-1, BL-6 y BS-9).

Por otra parte, se valoró la relación entre los valores experimentales y la predicción de la capacidad resistente realizada por formulaciones de diferentes normativas y autores, para conectores tipo perno, dado que se partió de la hipótesis inicial de considerar que los conectores tipo B tienen un comportamiento cercano al de los conectores tipo perno.

La Tabla 10 muestra la relación experimentación / predicción para cada uno de los especímenes ensayados con conector tipo B respecto a las siguientes formulaciones internacionales para conexiones con conector tipo perno:

- AISC, E.U (2005) [1]
- Rambo - Roddenberry (2002) [47]
- NRMCM 080-2007, Cuba (2007) [38]
- Bonilla (2008) [7]
- Eurocode 4 (2004) [22]

Tabla 10. Comparación de resultados experimentales con formulaciones de normas y autores internacionales, y formulaciones propuestas. Conexiones tipo B.

Especimen	Ancho (mm)	Posición	Capacidad Resistente Experimental (kN)	$\frac{Exp}{AISC}$	$\frac{Exp}{R.R}$	$\frac{Exp}{NC}$	$\frac{Exp}{Bonilla}$	$\frac{Exp}{Eurocode 4}$
BL-1	50	D	26.28	0,440	0,627	0,712	0,603	0,481
BL-2	50	F	72.64	0,976	1,223	1,969	1,100	1,421
BL-3	150	D	45.05	0,757	1,075	1,221	1,034	0,825
BL-4	150	F	77.58	1,043	1,150	2,103	1,175	1,421
BL-6	50	F	65.07	0,875	0,965	1,764	0,986	1,192
BL-7	150	D	38.79	0,652	0,926	1,052	0,890	0,711
BL-8	150	F	75.08	1,009	1,113	2,035	1,137	1,375
BS-9	50	-	132.78	1,260	-	1,253	1,703	1,703
BS-10	50	-	126.45	1,200	-	1,120	1,621	1,621
BS-11	50	-	142.71	1,354	-	1,354	1,830	1,830
BS-12	50	-	128.95	1,224	-	1,224	1,653	1,653

Para los especímenes con losa maciza se determinó que todas las formulaciones consideradas subestiman la capacidad resistente experimental. En el caso de los especímenes con lámina, se alcanzan buenas predicciones para la combinación de **separación entre barras** de 150 mm y **posición** F, con valores medios de la relación experimentación / predicción de 1,03 para AISC. Son aceptables los valores medios de la relación experimentación / predicción para la combinación **separación entre barras** de 50 mm y **posición** F según AISC (0,93), R-R (1,09) y Bonilla (1,04). Por su parte R-R (1,00) y Bonilla (0,96) predicen razonablemente la combinación **separación entre barras** de 150 mm y **posición** D, en tanto AISC (0,70) sobrestima los resultados experimentales en ese caso. El espécimen BL-1, único con la combinación **separación entre barras** de 50 mm y **posición** D, se queda muy por debajo de las predicciones de todas las formulaciones consideradas.

Con base en los anteriores resultados, es recomendable el empleo de conectores tipo B de 150 ó 50 mm de separación entre barras en posición favorable, así como el cálculo de su capacidad resistente según la formulación I3-1 del Capítulo I – Construcción Compuesta del AISC (2005), “Resistencia nominal de conector tipo perno localizado en posición perpendicular a la lámina colaborante” [1]. Si se desea acudir al empleo de conectores tipo B de 150 mm de separación entre barras en posición D, entonces se recomienda el empleo de las formulaciones de R-R (2002) o Bonilla (2008) [7, 47]. No se recomienda el empleo de conectores de 50 mm de separación entre barras en posición D en tanto se realicen ensayos complementarios para ese caso.

5.2 Conectores tipo C

Se demuestra que las variables independientes **ancho** ($p = 0,0071$) y **resistencia a compresión del concreto** ($p = 0,0461$), son significativas al 95 % de confianza en la variable dependiente **capacidad resistente máxima** (ver Figura 21 y Figura 22).

La Figura 23 ilustra el efecto de las variables independientes en el comportamiento carga – deslizamiento de los especímenes CL-3, CL-4, CL-5 y CL-6, lo que es totalmente consistente con los resultados del procesamiento estadístico, incluido el mayor efecto del ancho.

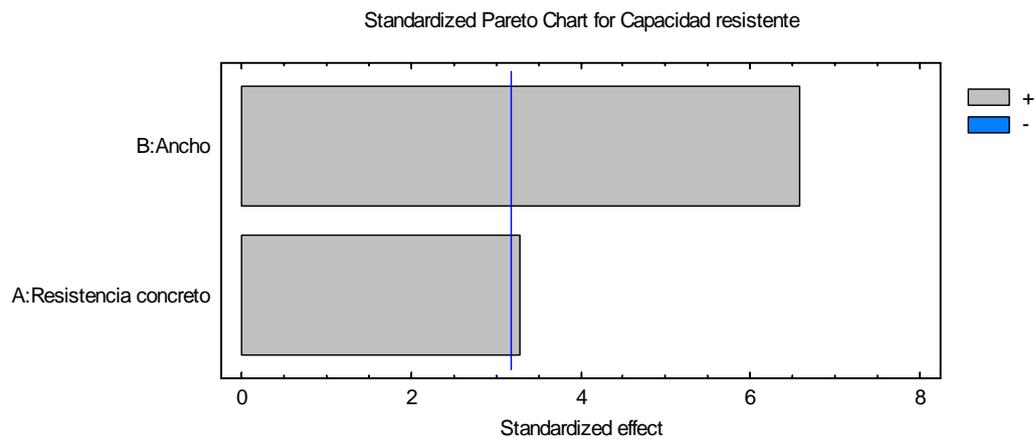


Figura 21. Significación de las variables independientes en la capacidad resistente.

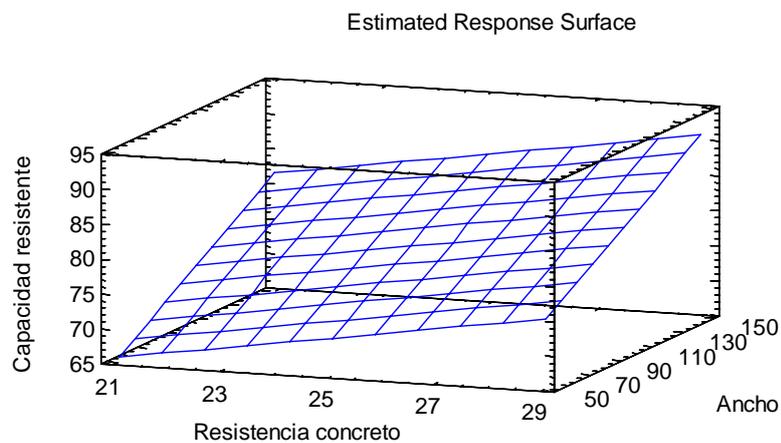


Figura 22. Superficie de respuesta.

El Anexo I.2 contiene el procesamiento estadístico detallado de canal con lámina.

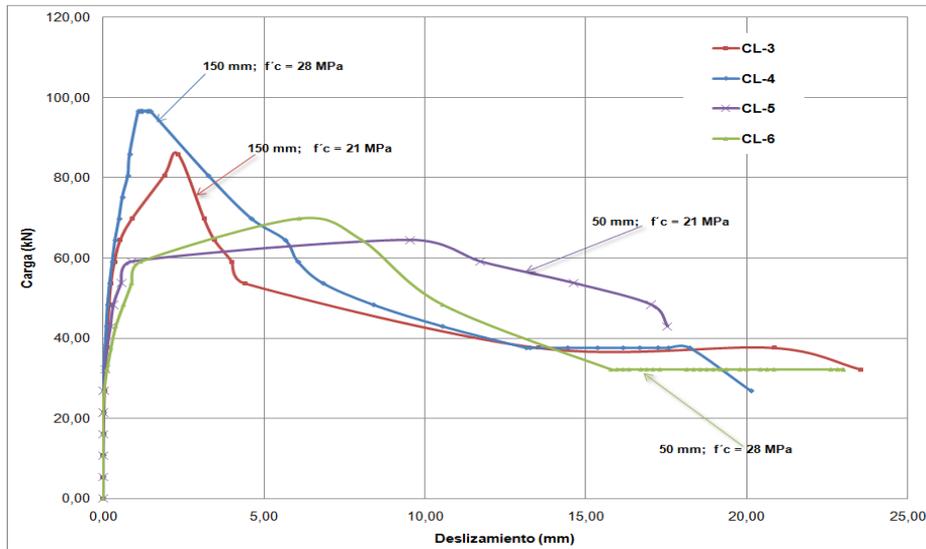


Figura 23. Curvas Carga-Deslizamiento de los especímenes CL-3, CL-4, CL-5 y CL-6.

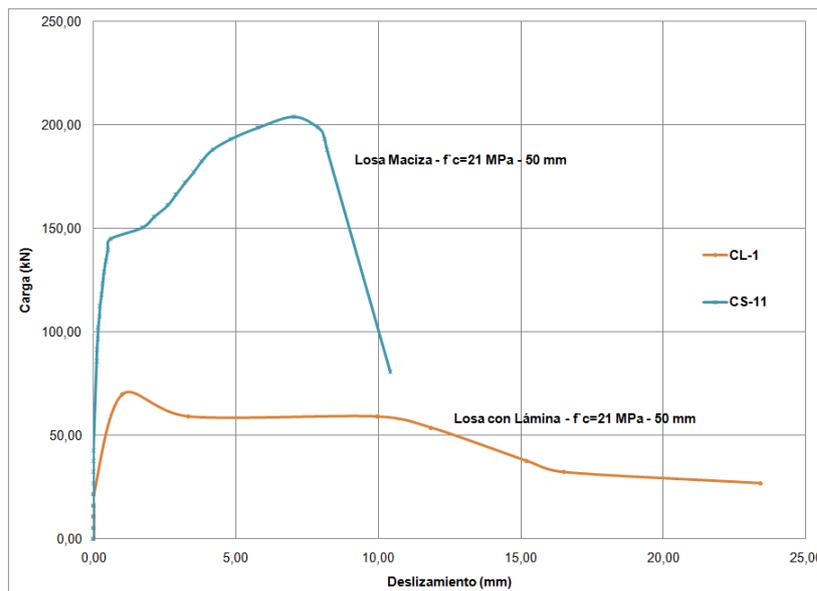


Figura 24. Curva Carga – Deslizamiento comparativa de especímenes con conector tipo C (CL-1, CL-11).

Por otra parte, se valoró la relación entre los valores experimentales y la predicción de la capacidad resistente realizada por formulaciones de diferentes normativas y autores, para conectores tipo canal en losa maciza. No han sido realizados estudios experimentales para losa con lámina con nervaduras perpendiculares y no existen formulaciones internacionales para ese caso.

En la Tabla 11 se muestra la relación experimentación / predicción para cada uno de los especímenes ensayados con conector tipo C en losa maciza respecto a las siguientes formulaciones internacionales:

- AISC, E.U (2005) [1]
- CSA, Canada (2001) [13]
- NRMC 080-2007, Cuba (2007) [38]
- Pashan (2006). [46]

Tabla 11. Comparación de resultados experimentales con formulaciones de normas y autores internacionales, y formulaciones propuestas. Conexiones tipo C.

Especimen	Resistencia a la compresión del concreto (MPa)	Ancho (mm)	Capacidad Resistente Experimental (kN)	$\frac{Exp}{AISC}$	$\frac{Exp}{NC}$	$\frac{Exp}{CSA}$	$\frac{Exp}{Pashan}$	$\frac{Exp}{Propuestas}$
CL-1	21,9	50	69,80	-	-	-	-	1,163
CL-2	27,5	50	75,17	-	-	-	-	1,117
CL-3	21,9	150	85,91	-	-	-	-	0,990
CL-4	27,5	150	96,65	-	-	-	-	0,993
CL- 5	21,9	50	64,43	-	-	-	-	1,073
CL-6	27,5	50	69,80	-	-	-	-	1,038
CL-7	21,9	150	75,18	-	-	-	-	0,866
CS-9	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301	1,019
CS-10	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301	1,019
CS-11	21,9	50	204,05	2,23	3,094	2,670	1,301	1,019
CS-12	21,9	50	193,31	2,11	2,931	2,529	1,233	0,966

Puede apreciarse que la totalidad de las formulaciones consideradas subestiman los resultados experimentales obtenidos, de donde se deriva la necesidad de proponer una nueva expresión que se ajusta tomando en cuenta los resultados experimentales de Pashan (2006) [46] y los del presente trabajo, que incluyen 24 especímenes con canales de 127 mm de altura, 18 con canales de 102 mm de altura y los 4 especímenes del presente estudio con canales de 76,2 mm de altura. La ecuación 1 predice los resultados experimentales del conjunto de 46 ensayos con un valor medio de la relación experimentación / predicción de 0,987, una desviación estándar de 0,068 y un coeficiente de determinación R^2 de 0,961, todos indicativos de una buena precisión. La relación experimentación / predicción para los especímenes del presente trabajo es excelente y alcanza un valor medio de 1,006, con una desviación estándar de 0,027. (Ver Tabla 11)

Expresión de conector tipo C en losa maciza:

$$Q_u = [1,6(t + w) + 0,5L]\sqrt{f'_c} \quad (1)$$

Donde:

- Q_u capacidad Resistente de un conector (kN).
 t espesor del ala del conector (mm).
 w espesor del alma del conector (mm)

L ancho del conector (mm)
 f'_c resistencia a compresión del concreto (MPa)

Para los especímenes con lámina se sigue la estrategia de determinar un coeficiente de reducción de la capacidad resistente en presencia de lámina perpendicular, a partir de establecer la relación entre los valores experimentales entre especímenes con losa maciza y lámina (para ancho de 50 mm), así como de los resultados experimentales para especímenes con lámina y 150 mm de ancho y la predicción de la capacidad resistente de especímenes hipotéticos homólogos con losa maciza según la ecuación 1. De esta manera, se llega a la

siguiente ecuación para determinar el coeficiente de reducción μ en función de la relación $\frac{W_r}{h_r}$ y del ancho del conector L.

$$\mu = 0,113 \left(\frac{W_r}{h_r} \right) - 0,001 L \quad (2)$$

Donde:

W_r ancho medio del valle de la lámina (mm)
 h_r altura nominal del valle de la lámina (mm)
 L ancho del conector (mm)

Para la lámina tipo "Correlosa", utilizada en los ensayos de este proyecto la relación $\left(\frac{W_r}{h_r} \right)$ es de 3.11; por lo tanto el factor de reducción de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** queda expresado de la siguiente manera:

$$\mu = 0,35 - 0,001 L \quad (3)$$

La aplicación combinada de las ecuaciones 1 y 3 a los especímenes con lámina arroja un valor medio de la relación experimentación / predicción de 1,03 con una desviación estándar de 0,097. (ver Tabla 11).

5.3 Conectores tipo P.

Se demuestra que la variable independiente **espesor** ($p = 0,002$) es significativa al 95 % de confianza en la variable dependiente **capacidad resistente máxima**, mientras que la variable **barra pasante** ($p = 0,15189$), no influye significativamente en la respuesta a ese nivel de confianza. (Ver Figura 25 y Figura 26).

La Figura 27 ilustra el efecto de las variables independientes en el comportamiento carga – deslizamiento de los especímenes PL-3, PL-4.PL-5 y PL-6, lo que es totalmente consistente con los resultados del procesamiento estadístico.

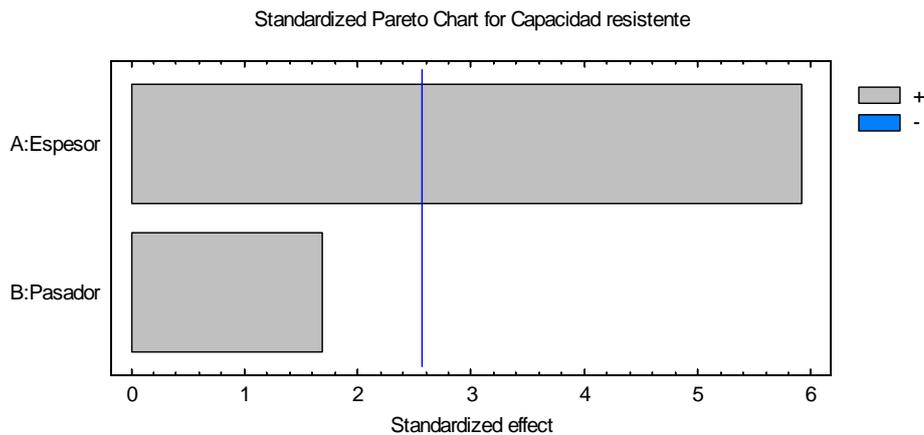


Figura 25. Significación de las variables independientes en la capacidad resistente.

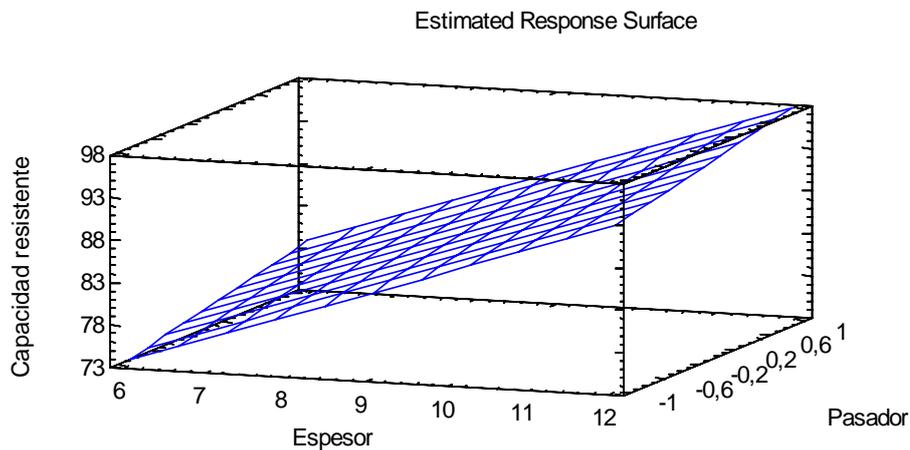


Figura 26. Superficie de respuesta.

El ANEXO I.3 contiene el procesamiento estadístico detallado de placa con lámina.

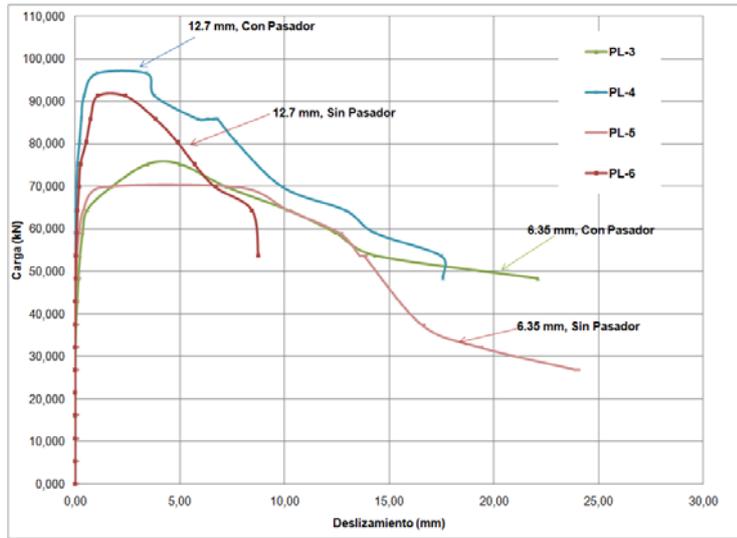


Figura 27. Curva Carga – Deslizamiento de los especímenes PL-3, PL-4, PL-5 y PL-6.

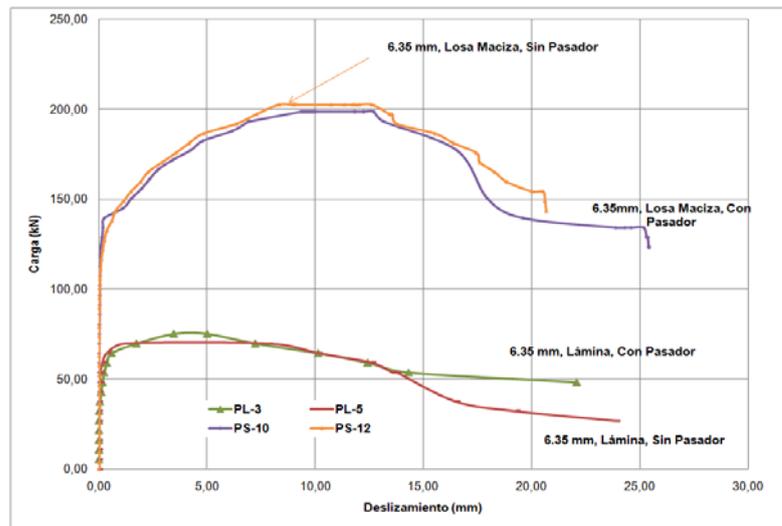


Figura 28. Curva Carga – Deslizamiento comparativa de los especímenes PL-3, PL-5, PS-10 y PS-12.

Por otra parte, se valoró la relación entre los valores experimentales y la predicción de la capacidad resistente realizada por la formulación de Verissimo et al (2007) [52] para conectores tipo placa de múltiples valles. No han sido realizados estudios experimentales de conectores tipo placa para losa con lámina con nervaduras perpendiculares y no existen formulaciones internacionales para ese caso.

En la Tabla 12 se muestra la relación experimentación / predicción para cada uno de los especímenes ensayados con conector tipo C en losa maciza respecto a la formulación de Verissimo et al. (2007). [52]

Tabla 12. Comparación de resultados experimentales con formulaciones de autores internacionales, y

Especimen	Espesor (mm)	Barra Pasante	Capacidad Resistente Experimental (kN)	$\frac{Exp}{Verissimo\ et.\ al.}$	$\frac{Exp}{Propuestas}$
PL-1	6,35	-	80,54	-	1,033
PL-2	12,7	-	91,28	-	1,039
PL-3	6,35	10 mm	75,17	-	0,905
PL-4	12,7	10 mm	96,65	-	1,039
PL-5	6,35	-	69,8	-	0,895
PL-6	12,7	-	91,28	-	1,039
PL-7	6,35	10 mm	80,54	-	0,970
PL-8	12,7	10 mm	102,02	-	1,097
PS-9	6,35	-	198,68	0,91	0,986
PS-10	6,35	-	198,68	0,91	0,986
PS-11	6,35	10 mm	182,57	0,79	0,868
PS-12	6,35	10 mm	202,63	0,87	0,963
PS-13	6,35	10 mm	193,31	0,83	0,919
PS-14	6,35	10 mm	187,94	0,81	0,894

formulaciones propuestas. Conexiones tipo P

Puede apreciarse que la única formulación disponible sobrestima los resultados experimentales obtenidos, de donde se infiere la necesidad de proponer una nueva expresión que se ajusta tomando en cuenta los resultados experimentales de Verissimo et al (2006) [51], Verissimo et al (2007) [50] y los del presente trabajo, que incluyen un total de 60 ensayos de conectores de placa en losa maciza. La presente investigación aporta los primeros ensayos con conectores de 6,35 mm de espesor y un solo valle.

La ecuación 4 predice los resultados experimentales del conjunto de 60 ensayos con un valor medio de la relación experimentación / predicción de 1,01, una desviación estándar de 0,08 y un coeficiente de determinación R^2 de 0,94, lo que es muestra de una notable precisión. Igualmente, con el empleo de la relación experimentación / predicción para los especímenes de la presente investigación es adecuada y alcanza un valor medio de 0,936 con una desviación estándar de 0,05 (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Expresión de conector tipo P en losa maciza:

$$Q_u = 2.4 \frac{h_{sc}^2}{t_c} t_{sc} f'_c + 2.9 n D^2 \sqrt{f'_c} + 0.30 A_{cc} \sqrt{f'_c} + 5.0 \times 10^6 \left(\frac{A_{tr}}{A_{cc}} \right) \quad (4)$$

Donde:

Q_u = Capacidad Resistente de un conector (N).

- h_{sc} = Altura total del conector (mm).
- t_c = Altura total [altura de lámina (t_l) + altura de losa (t_n)]
- t_{sc} = Espesor del conector (mm).
- f'_c = Resistencia a compresión del concreto (MPa).
- n = Número de aberturas del conector.
- D = Diámetro del círculo inscrito en la abertura del conector (mm).
- A_{cc} = Área del concreto al cizallamiento por conector (mm^2)
- A_{tr} = Área total del refuerzo transversal por conector (mm^2)

El área del concreto al cizallamiento por conector se calcula de la siguiente manera:

$$A_{cc} = L_c t_c - L_{sc} h_{sc}$$

El área total del refuerzo transversal por conector se calcula con la fórmula a continuación

$$A_{tr} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \# \text{ de barras}$$

Donde:

- d** = Diámetro de barras
- #** = Cantidad de barras

Los resultados experimentales de los especímenes con lámina se predicen con un valor medio de la relación experimentación / predicción de 1,002 y una desviación estándar de 0,07, lo que es muestra de una adecuada precisión.

6. Conclusiones

1. El desarrollo del programa experimental permitió satisfacer el propósito inicial de caracterizar experimentalmente el comportamiento bajo carga monotónica de los tres tipos de conectores estudiados: asas verticales elaboradas a partir de barras lisas de acero (Tipo B), canales laminados en caliente (Tipo C) y placa continua (Tipo P). El programa incluyó el examen de los tres (3) tipos de conectores en presencia de lámina plegada perpendicular al eje de las vigas o en losas macizas de concreto normal. Los resultados que se exponen para todo los casos en presencia de lámina, son inéditos.
2. Se pudo apreciar cómo la presencia de la lámina condujo a una reducción notable de la capacidad resistente máxima y a la aparición de grietas en etapas tempranas del ensayo. Igualmente, en los especímenes con láminas prevalece la falla del concreto en la vecindad del conector a diferencia de la falla por corte de los conectores que prevalece en los especímenes con losa maciza.
3. El adecuado diseño estadístico del experimento y la consecuente evaluación estadística de los resultados ha permitido apreciar la significación de las variables independientes consideradas. Es así como se definen como variables de mayor efecto, la **posición** en los conectores tipo B, el **ancho** de los conectores tipo C, y el **espesor** de los conectores tipo P; sin descartar la significación de las variables **separación de las barras** en los conectores tipo B, y **resistencia del concreto a la compresión** en los conectores tipo C.

4. Se demuestra la hipótesis del comportamiento análogo de los conectores tipo B con los conectores tipo perno, y se realiza una valoración de factibilidad del empleo de las formulaciones disponibles para esta última tipología, que gozan de un amplio sustento experimental internacional. A partir de lo anterior, se concluye que es recomendable el empleo de conectores tipo B de 150 o 50 mm de separación entre barras en posición favorable, así como el cálculo de su capacidad resistente según AISC(2005). Para conectores tipo B de 150 mm de separación entre barras en posición D, entonces se recomienda el empleo de las formulaciones de R-R (2002) o Bonilla (2008). No se recomienda el empleo de conectores de 50 mm de separación entre barras en posición D en tanto se realicen ensayos complementarios para ese caso.
5. La totalidad de las formulaciones internacionales consideradas para conectores tipo C en losa maciza subestiman los resultados experimentales obtenidos. La nueva ecuación 1 propuesta predice el conjunto del total de 46 ensayos considerados con un valor medio de la relación experimentación / predicción de 0,987, una desviación estándar de 0,068 y un coeficiente de determinación R^2 de 0,961; todos indicativos de una buena precisión.
6. No se reportan ensayos precedentes ni formulaciones para el caso de conectores tipo C en presencia de lámina perpendicular. La aplicación combinada de las nuevas ecuaciones 1 y 3 a estos especímenes arroja un valor medio de la relación experimentación / predicción de 1,03 con una desviación estándar de 0,097.
7. La única formulación internacional disponible para conectores tipo P en losa maciza sobrestima los resultados experimentales obtenidos. La nueva ecuación 4 predice los resultados experimentales del conjunto de 60 ensayos con un valor medio de la relación experimentación / predicción de 1,01, una desviación estándar de 0,08 y un coeficiente de determinación R^2 de 0,94; lo que es muestra de una notable precisión.
8. Igualmente, no se reportan ensayos precedentes ni formulaciones el caso de conectores tipo P en presencia de lámina perpendicular. La aplicación de la nueva ecuación 4 combinada con un coeficiente de reducción de 0,37 permite predecir los resultados experimentales de estos especímenes con un valor medio de la relación experimentación / predicción de 1,002, y una desviación estándar de 0,07; lo que es muestra de una adecuada precisión.

Recomendaciones:

1. Profundizar en el estudio de las conexiones estudiadas, realizando ensayos de conectores complementarios y los ensayos de vigas previstos en la segunda etapa.
2. En los ensayos de conectores deberá enfatizarse en el estudio de:
 - conectores tipo B de ancho 50 mm en posición D, así como anchos intermedios entre 50 y 150 mm en posición F y D.
 - conectores tipo C con anchos intermedios entre 50 y 150 mm.
 - conectores tipo P de espesores varios.
3. Los ensayos de viga estarán dedicados a establecer la correspondencia entre los resultados alcanzados en los ensayos de conectores y el comportamiento experimental

de vigas a escala real y aportarán decisivamente a la validación de la ductilidad determinada en los ensayos de conectores y su correspondencia con el modo de falla de las vigas.

7. Bibliografía.

7.1 Referencias bibliográficas.

1. American Institute of Steel Construction, Inc. (AISC). (2005). "Specification for Structural Steel Buildings". ANSI/AISC 360-05. pp. 77-89.
2. ASTM C39-05
3. ASTM A 36/ A615M-08b
4. ASTM A370-0b
5. Bayasi, Z., Kaiser, H., Gonzales, M. (2001): Composite Slabs with Corrugated SIMCON Deck as Alternative for Corrugated Metal Sheets. *Journal of Structural Engineering*, Vol 127, No 10, p 1198-1205.
6. Bonilla, J. (2006): Estudio preliminar del comportamiento de conectores en estructuras compuestas mediante simulación numérica. Tesis de Maestría, UCLV, Sta Clara, Cuba, 96 p.
7. Bonilla, J. (2008). "Estudio del comportamiento de conectores tipo perno de estructuras compuestas de hormigón y acero mediante modelación numérica". Tesis Doctoral. UCLV, Santa Clara, Cuba. 127 p.
8. Bonilla, J.; Larrúa, R.; Mirambell, E.; Recarey, C. (2007a): Estudio de la influencia de la resistencia del hormigón en el comportamiento de conectores mediante simulación numérica y análisis experimental. , *Revista Ingeniería Civil*, No 147, CEDEX, Madrid, España, p 57-64.
9. Bonilla, J.; Larrúa, R.; Mirambell, E.; Recarey, C. (2007b): Aplicación de la simulación numérica al estudio del comportamiento de conectores tipo perno en estructuras mixtas de hormigón y acero, *Revista Ingeniería Civil*, No 148, CEDEX, Madrid, España, p 55-68.
10. Bonilla, J.; Larrúa, R.; Mirambell, E.; Recarey, C. (2007c): Simulación virtual del ensayo push out para conectores tipo perno y con sección en U en estructuras mixtas hormigón-acero, *Revista Ingeniería Civil*, No 148, CEDEX, Madrid, España, p 83-93.
11. Chapman, J. C. y Balakrishnan, S. (1964): Experiments on Composite Beams. *Journal of Structural Engineer*, Vol 42, No 11, p 369-383.
12. Chinn, J. (1965): Push-Out Test on Lightweight Composite Slabs. *Engineering Journal*, AISC, Vol 2, No 4, p 129-134.
13. CSA (2001) CAN/CSA-S16-01, Limit States Design of Steel Structures, Canadian Standard Association, Rexdale, Ontario.
14. Davies, C. (1967): Small-Scale Push-Out Tests on Welded Stud Shear Connectors. *Journal of Structural Engineer*, Vol 40, No 2, p 311-316.
15. Davies, C. (1969): Test on Half-Scale Steel-Concrete Composite Beams with Welded Stud Connectors. *Journal of Structural Engineer*, Vol 47, No 1, p 29-40.
16. Diaz B., Easterling W.S, Murray T.M. (1998). "Behavior of Welded Shear Studs Used with 1.0 C Deck." Internal report. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
17. Easterling, W. S., Gibbings, D. R. y Murray, T. M. (1993): Strength of Shear Studs in Steel Deck on Composite Beams and Joist. *Engineering Journal*, AISC, Vol 30, No 2, p 44-55.
18. Elkelish, M. S. y Robinson, H. (1986): Longitudinal Cracking of Composite Beams with Ribbed Metal Deck. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 13, No 5, p 733-740.

19. Ellobody, E. (2002): Finite element modeling of shear connection for steel-concrete composite girders. Ph.D. Thesis. Leeds: School of Civil Engineering, The University of Leeds, UK, 256 p.
20. Ellobody, E.; Lam, D. (2002): Modeling of headed stud in steel-precast composite beams. *Journal of Steel & Composite Structures*, Vol 2, No 5, p 355-378.
21. Ellobody, E.; Young, B. (2006): Performance of shear connection in composite beams with profiled steel sheeting, *Journal of Constructional Steel Research*, No 62, p 682-694.
22. European Committee for Standardization. (2004). "Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1.1". Eurocode 4. EN 1994-1-1. Brussels.
23. Fisher, J. W. (1970): Design of Composite Beams with Formed Metal Deck. *Engineering Journal*, AISC, Vol 7, No 3, p 88-96.
24. Grant, J. A., Fisher, J. W. y Slutter, R. G. (1977): Composite Beams with Formed Steel Deck. *Engineering Journal*. AISC, Vol 14, No 1, p 24-43.
25. Hernández, L. (2003): Cálculo de estructuras compuestas de hormigón y acero a flexión con el empleo de láminas perfiladas. Tesis de Doctorado, ISPJAE, La Habana, Cuba, 103 p.
26. Jayas B. S., Hosain M.U. (1988). "Behaviour of headed studs in composite beams: push-out tests". *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol.15. pp. 240-253.
27. Jayas, B. S. y Hosain, M. U. (1989): Behavior of Headed Studs in Composite Beams: Full-size Tests. *Canadian Journal of Civil Engineering* Vol 16, No 5, p 712-724.
28. Johnson R.P, Yuan H. (1998). "Existing Rules and New Tests for Stud Shear Connectors in Troughs of Profiled Sheeting". *Proc. Instn Civ. Engrs Structs & Bldgs*. Vol. 128. pp. 244-251.
29. Johnson, R. P. y Yuan, H. (1997): Resistente of Stud Shear Connector in Troughs of Profiled Sheeting. Research Report CE 55, February, University of Warwick, UK.
30. Kitoh, H. y Sonoda, K. (1990): Forces on the Studs in a Steel Plate and Concrete Slab. International Association for Bridge and Structural Engineering (LABSE) Symposium, Brussels, p 185-190.
31. Lam, D. y Ellobody, E. (2005): Behavior of Headed Stud Shear Connectors in Composite Beam, *Journal of Structural Engineering*, Vol 131, No 1, p 96-106.
32. Larrúa, R. (1992): Cálculo de estructuras compuestas de hormigón y acero sometidas a flexión bajo carga estática con fundamentación experimental de los conectores. Tesis de Doctorado, ISPJAE, La Habana, Cuba, 180 p.
33. Lloyd, R. M. y Wright, H. D. (1990): Shear Connection Between Composite Slabs and Steel Beams. *Journal of Construction and Steel Research*, Vol 15, No 2, p 255-285.
34. Lyons, J. C.; Easterling, W. S.; Murray, T. M. (1994): Strength of Welded Shear Studs. Report No. CE/VPI-ST 94/07. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
35. MacMackin, P.; Slutter, R.; Fisher, J. (1973): Headed steel anchor under combined loading. *Eng. J.*, 2Q, p 43-53.
36. Mottram, J. T. y Johnson, R. P. (1990): Push Test on Studs Welded Through Profiled Steel Sheeting. *The Structural Engineer*, Vol 68, No 10, p 187-193.
37. Nie, J., Xiao, Y., Chen, L. (2004): Experimental Studies on Shear Strength of Steel-Concrete Composite Beams. *Journal of Structural Engineering*, Vol 130, No 8, p 1206-1213.
38. NRM C 080-2007, Cálculo de entresijos compuestos de hormigón y acero con vigas de alma llena sometidos a carga estática. Código de buenas prácticas. Norma Ramal del Ministerio de la Construcción de Cuba.
39. Oehlers, D. J. (1990): Behavior of Headed Studs in Composite Beams: Push-out Tests: Discussion. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 17, No 3, p 341-362.

40. Oehlers, D. J. y Coughlan, C. G. (1986): The Shear Stiffness of Stud Shear Connections in Composite Beams. *Journal Constr. Steel Research*, No 6, p 273-284.
41. Oehlers, D. J. y Johnson, R. P. (1987): The Strength of Stud Shear Connections in Composite Beams. *Journal of Structural Engineering*, Vol 65, No 2, p 44-48.
42. Oehlers, D. J., Seracino, R., Yeo, M. F. (2000): Effect of Friction on Shear Connection in Composite Bridge Beams. *Journal of Bridge Engineering*, Vol 5, No 2, p 91-98.
43. Oguejiofor, E.C., and Hosain, M.U. 1994. A parametric study of perfobond rib shear connectors. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Volume 21, No. 4, pp. 614-625.
44. Ollgaard, J. G., Slutter, R. G. y Fisher, J. W. (1971): Shear Strength of Stud Connectors in Lightweight and Normal-Weight Concrete. *Engineering Journal. AISC*, Vol 8, No 2, p 55-64.
45. Park, J. W., Kim, C. H., Yang, S. C. (2003): Ultimate Strength of Ribbed Slab Composite Beams with Web Openings. *Journal of Structural Engineering*, Vol 129, No 6, p 810-817.
46. Pashan , A. Behaviour of channel shear connectors: Push-out tests, 2006
47. Rambo-Roddenberry, M. D. (2002): Behavior and Strength of Welded Stud Shear Connectors. PhD. Thesis University of Blacksburg, Virginia, EE.UU, 245 p.
48. Rambo-Roddenberry, M. D., Easterling, W. S., Murray, T. M. (2002): Behavior and Strength of Welded Stud Shear Connector-Data Report. Report No. CE/VPI-ST 02. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, EE.UU.
49. Robinson, H. (1988): Multiple Stud Shear Connectors in Deep Ribbed Metal Deck. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 15, No 4, p 553-569.
50. Valente, I y Cruz, P: Desenvolvimentos recentes no domínio da conexão aço-concreto no contexto das estruturas mistas, 2005.
51. Verduzco, M. G. (2006): Comportamiento de conectores de corte utilizando concreto celular y de anhidrita. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Moterrey, México, 102 p.
52. Veríssimo G., Oliveira A, Fakury R, Rodrigues F, Paes J.L, Valente I, Cruz P.J. Avaliação do desempenho de um conector de cisalhamento em chapa dentada para estruturas mistas de aço e concreto. CMNE/CILAMCE . Porto, 13 a 15 de Junho, 2007. APMTAC, Portugal 2007
53. Veríssimo,G.Valente I, Paes,J.L, Cruz P.J, Fakury R.H. Análise experimental de um conector de cisalhamento em chapa de aço endentada para estruturas mistas de aço e concreto. Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Maio / 2006 ISBN 85-99956-01-9
54. Viest, I. M. (1956): Investigation of Stud Shear Connectors for Composite Concrete and Steel T-Beams. *Journal of the American Concrete Institute*, No 27, p 875-891.
55. Wright, H. D. y Francis, R. W. (1990): Tests on Composite Beams with Low Levels of Shear Connection. *The Structural Engineer*, Vol 68, No 15, p 293-298.
56. Composite construction in structural steel and concrete (1965): British standard code of practice CP 117 Part 1.

7.2 Otros documentos bibliográficos de interés consultados.

1. Álvarez R. (1983): La estructura metálica hoy. Teoría y práctica, Editorial Librería Técnica Bellisco, Madrid, España. 355 p.
2. Ansourian, P.; Roderick, J. W. (1978): Analysis of composite beams, *Journal of the structural division, ASCE*, Vol 104, No 10, p 1631-1645.
3. Canadian Institute of Steel Construction (1995): Handbook of steel constructions, Sixth Edition, Canada.

4. Chiewanichakorn, M., Aref, A. J., Chen, S. S., Ahn, Il-Sang (2004): Effective Flange Width Definition for Steel-Concrete Composite Bridge Girder. *Journal of Structural Engineering*, Vol 130, No 12, p 2016-2031.
5. Fabbrocino, G., Manfredi, G., Cosenza, E. (2000): Analysis of Continuous Composite Beams Including Partial Interaction and Bond. *Journal of Structural Engineering*, Vol 126, No 11, p 1288-1284.
6. Faella, C., Martinelli, E., Nigro, E. (2003): Shear Connection Nonlinearity and Deflections of Steel-Concrete Composite Beams: A Simplified Method. *Journal of Structural Engineering*, Vol 129, No 1, p 12-20.
7. Fragiacomò, M., Amadio, C. y Macorini, L. (2004): Finite-Element Model for Collapse and Long-Term Analysis of Steel-Concrete Composite Beams. *Journal of Structural Engineering*, Vol 130, No 3, p 489-497.
8. Goble, G. G. (1968): Shear Strength of Thin Flange Composite Specimens. *Engineering Journal*, AISC, Vol 5, No 2, p 62-65.
9. Hansell, W. C., Galambos, T. V., Ravindra, M. K., and Viest, I. M. (1978): Composite Beam Criteria in LRFD. *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol 104, No 9, p 1409-1426.
10. Hawkins, N. M. y Mitchell, D. (1984): Seismic Response of Composite Shear Connections. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol 110, No 9, p 2120-2136.
11. Hillerborg, A.; Modeer, M.; Peterson, P. (1976): Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite element, *Cement and Concrete Research*, Vol 6, No 6, p 773-782.
12. Johnson, R.P. y Oehlers, D. J. (1981): Analysis and Design for Longitudinal Shear in Composite T-Beams. *Proc. Instn. Civil Engrs. Part 2*, Vol 71, No 4, p 989-1021.
13. Kiseliov, V. A. (1983): *Mecánica de construcción*, Ed. Mir, Tercera edición, Moscú, URSS, 344 p.
14. Lagoda, M.; Rybak, M. (1976): *Doswiadczenia na wielkowymiarowych polaczeniach swoznowiowych*, 3, IBDIM, Varsovia.
15. Lagoda, M.; Rybak, M. (1977): *Doswiadczenia na dzwigarach zespolonych za pomoca sworzni czolowo-spawanych*, Materiały Konferencji KILPAN i KNPZITB, Krynica.
16. Lawson, R. M. (1992): Shear Connection in Composite Beams. *Composite Construction in Steel and Concrete II*. (ed. W.S. Easterling and W. M. Kim Roddis). American Society of Civil Engineers, New York, NY, p 81-97.
17. Lee, J.; and Fenves, G., L. (1998): Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol 124, No 8, p 892-900.
18. *Load and Resistance Factor Design (LRFD) Specification for Structural Steel Building (1999)*: American Institute of Steel Construction (AISC), Inc., Chicago, IL.
19. López, R. (1988): *Diseño estadístico de experimentos*, Editorial científico técnica, La Habana, Cuba.
20. Martínez, C. J.; Ortiz, H. J. (1978): La construcción mixta ante los nuevos métodos de análisis y criterios de seguridad, *Técnica e industria, Serie Arquitectura e Ingeniería Civil*, No 5, p 16-31.
21. Mattock, A. M. et al. (1969): Shear transfer in reinforced concrete, *ACI Journal*, Vol 66, No 2.
22. Nie, J. y Cai, C. S. (2004): Steel-Concrete Composite Beams Considering Shear Slip Effects. *Journal of Structural Engineering*, Vol 129, No 4, p 495-506.
23. Nilson, A. (1968): Non Linear analysis of reinforced concrete by finite element method. *Journal A.C.I.*, Vol 64, No 9.
24. Oehlers, D. J. (1989): Splitting Induced by Shear Connectors in Composite Beams. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol 115, No 2, p 341-362.

25. Oñate, E. (1995): Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. CIMNE, Segunda edición, Barcelona, España, 830 p.
26. Pardo, M. (2000): Cálculo de estructuras compuestas de hormigón y acero con viga de celosía. Tesis de Maestría, ISPJAE, La Habana, Cuba, 76 p.
27. Salari, M. R., Spacone, E. (2001): Analysis of Steel-Concrete Composite Frames with Bond-Slip. Journal of Structural Engineering, Vol 127, No 11, p 1243-1250.
28. Salmon, C. G. (1980): Steel structures. Design and behavior, Ed. Harper and Row Publishers, New York, EE.UU. 555 p.
29. Slutter, R. G. y Driscoll, G. C. (1965): Flexural Strength of Steel-Concrete Composite Beams. Journal of Structural Div. Vol 91, No 2, p 71-99.
30. Weng, C. C., Yen, S. I., Jiang, M. H. (2002): Experimental Study on Shear Splitting Failure of Full-Scale Composite Concrete Encased Steel Beams. Journal of Structural Engineering, Vol 128, No 9, p 1186-1194.
31. Wilczynski, R. (1984): Noscosc graniczna belek zespolonyeh stalowo-betonowych, INZ. i BUD., No 9, p 325-329.
32. Wright, H. D. (1987): The use of profiled steel sheeting in floor construction. Journal Construction Steel Research, p 279-295.