

6.Comportamiento a flexión de sistemas compuestos de placas de concreto y perfiles formados en frío CFS con conectores de cortante tipo CSC.

(Propuesto de Flexural Behavior of CFS-Concrete Composite Systems Involving CSC-Type Shear Connectors (Hurtado & Molina 2024))

6.1 Introducción

En el diseño estructural, para determinados casos, el dimensionamiento de las secciones de los elementos obedece a criterios de rigidez más que de resistencia, debido al control de desplazamientos máximos establecidos por condiciones de funcionalidad y de estabilidad. El diseño de estructuras que involucran elementos compuestos no es ajeno a este hecho.

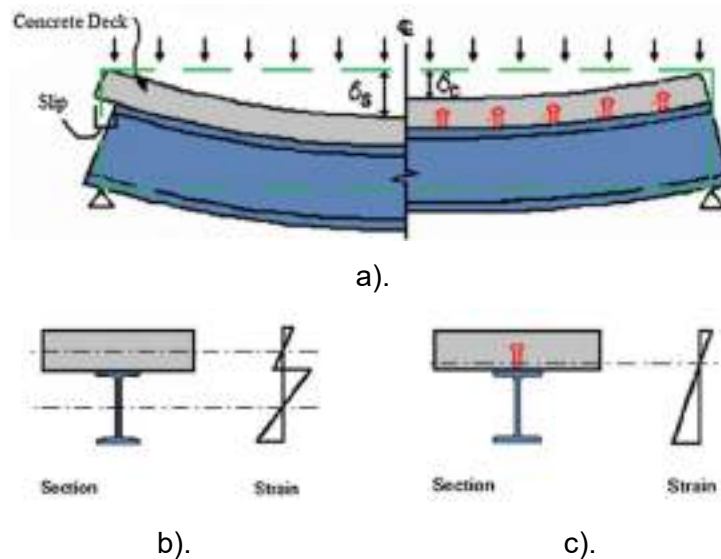
El mecanismo de trabajo de las secciones compuestas de acero y concreto potencian el óptimo desempeño de los materiales, particularmente para sistemas de entrepisos, de manera que el concreto trabaje a compresión, evitando la fisuración inducida por las tensiones, dada su baja resistencia a la tracción; y el acero trabaje a tensión, mitigando la posibilidad que se presenten pandeos locales y/o globales en los perfiles ante solicitaciones de compresión.

Este eficiente mecanismo de trabajo conduce a que la capacidad estructural por resistencia cumpla con secciones pequeñas, las cuales en el caso de requerirse pueden incrementarse para satisfacer simultáneamente condiciones de servicio.

El mecanismo de transferencia de esfuerzos en la interfaz del sistema son los conectores de cortante (**Figura 6-1**), de los cuales existen diferentes tipologías.

Generalmente, en el diseño de las secciones compuestas se considera la transferencia del 100% de los efectos entre sus componentes, denominado interacción total, pero puede que para disposiciones operacionales esta condición de trabajo no llegue a presentarse, siendo más económico y eficiente considerar un diseño con interacción parcial, de manera que se garantice la resistencia requerida por las solicitaciones, y además se satisfagan las condiciones de servicio.

Figura 6-1: a). Viga compuesta con conectores de cortante Vs. Viga no compuesta. b). Perfil de deformaciones sección no compuesta. c). Perfil de deformaciones sección totalmente compuesta.



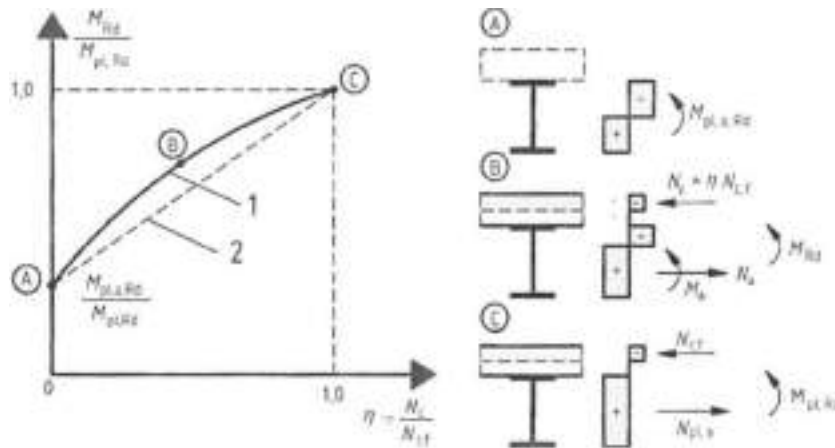
Tomado de Merryfield et al. 2016

Para la evaluación del grado de interacción de la sección compuesta, se establecen diferentes metodologías analíticas aproximadas, tales como las curvas de interpolación de Eurocódigo 4 (6.2) (**Figura 6-2**), y las ecuaciones de la sección transformada equivalente, incluidas en AISC 360 (13.2), en las cuales se consideran las propiedades nominales de los materiales.

Asimismo, la validación de estas metodologías se lleva a cabo por medio de ensayos experimentales y simulaciones numéricas de vigas a escala real, donde se configuran

diferentes arreglos de especímenes con el fin de evaluar la capacidad de carga máxima del sistema compuesto solicitado a flexión.

Figura 6-2: Curva de capacidad para interpolación de trabajo de sección compuesta.



Tomado de Eurocódigo 4

En este estudio, se valida experimentalmente, a escala real, la capacidad de diferentes configuraciones de vigas solicitadas a flexión, donde se evalúa la incidencia de la resistencia y el espesor de las losas de concreto, el espaciamiento entre conectores de cortante tipo CSC, y el espesor de los perfiles de acero en el comportamiento del sistema, logrando establecer el grado de acción compuesta de cada configuración.

De otra parte, se procede con la calibración de modelos numéricos, empleando el método de los elementos finitos (*MEF*), con el propósito de simular las condiciones de los ensayos a flexión, para así validar el comportamiento interno de los componentes del sistema compuesto, durante el proceso de carga, y analizar el desarrollo de los mecanismos de falla que se presenten.

Por medio de los análisis de capacidad nominal del sistema compuesto para falla por flexión, corte, pandeo local, pandeo distorsional y falla del sistema de transferencia, se establecen las resistencias nominales, las cuales fueron comparadas con los resultados experimentales, encontrando el grado de aproximación.

Adicionalmente, se propone la formulación de diseño para evaluar el grado de acción compuesta en sistemas que involucran los de concreto, perfiles *CFS* y conectores *CSC*.

6.2 Antecedentes

De acuerdo con la normatividad vigente, la resistencia nominal máxima a la flexión, proporcionada por las secciones compuestas, se estima a partir de dos metodologías: *Método de la distribución plástica de esfuerzos - PSDM* y *Método elástico de deformaciones compatibles - SCM*.

- De acuerdo con AISC 360-16, para perfiles metálicos de alma compacta $h/t_w \leq 3.76 \sqrt{E_s/F_y}$, el cálculo del momento máximo de diseño se obtiene con el método de la distribución plástica de esfuerzos (PSDM). En caso de que esta relación no se cumpla como elementos de alma esbelta, o para secciones irregulares, o donde el acero estructural no presente un comportamiento elástico definido, debe emplearse el método de las deformaciones compatibles (SCM).
- En el Eurocódigo 4 se incluye la clasificación de los elementos de acuerdo con su compacidad y potencial susceptibilidad al pandeo local, en función de la relación ancho-espesor de los elementos componentes del perfil metálico.

En la Tabla 6-1 se incluyen las restricciones dimensionales ancho-espesor para la categorización de perfiles, así como el método de análisis recomendado para establecer la resistencia por flexión del sistema.

Tabla 6-1: Clasificación de secciones y métodos de análisis según Eurocódigo 4.

Clase de rigidez y nombre	1 PLÁSTICO	2 COMPACTO	3 SEMI COMPACTO	4 ESBELTO
Método de análisis global	Análisis plástico (PSDM)	Análisis elástico (SCM)	Análisis elástico (SCM)	Análisis elástico (SCM)
Análisis de sección transversal	Análisis plástico (PSDM)	Análisis plástico (PSDM)	Análisis elástico (SCM)	Análisis elástico (SCM)
Máxima relación ancho/espesor para patines en perfiles tipo I				
Alma no arriostrada	8.14	8.95	12.2	Sin límites
Alma arriostrada	8.14	12.2	17.1	Sin límites

Tomado de Eurocódigo 4

Cualquiera de las metodologías presentadas está orientada a establecer el trabajo de acción compuesta total, pero en la realidad, es posible que la capacidad nominal no sea alcanzada. En ese sentido, ya sea por limitantes de servicio, o por bajas solicitaciones, sea suficiente con el aporte de la acción parcialmente compuesta. Esta condición puede ser económica y logísticamente viable, dado que hay casos en los que el diseño estructural obedece a requerimientos de rigidez, sin que se llegue a estados límites de resistencia.

De acuerdo con el planteamiento presentado en la investigación de Vinnakota et al. (2003), en la **Tabla 6-2** se recopilan los posibles escenarios que se pueden presentar en la sección compuesta, denotando C como la compresión máxima del sistema, T la tensión máxima del sistema, S la capacidad de corte máxima del sistema y S^* equivale a la capacidad de interacción parcial.

Tabla 6-2: Clasificación de secciones compuestas según las fuerzas relativas en los elementos.

		$S^* > S$	$S^* = S$	$S^* < S$
		$C < T < S^*$ $C < S^* < T$	$S^* = C < T$	$S^* < C < T$
I	$C < T$	1. Acción totalmente compuesta. 2. Sección de concreto insuficiente. 3. Eje neutro en perfil de acero	1. Acción totalmente compuesta. 2. Sección de concreto insuficiente. 3. Eje neutro en perfil de acero	1. Acción parcialmente compuesta. 2. Sección de concreto insuficiente. 3. Eje neutro en perfil de acero
II	$C = T$	$C = T < S^*$	$S^* = C = T$	$S^* < C = T$
		1. Acción totalmente compuesta. 2. Sección de concreto adecuada. 3. Eje neutro en zona de interfaz.	1. Diseño balanceado. 2. Sección de concreto adecuada. 3. Eje neutro en zona de interfaz.	1. Acción parcialmente compuesta. 2. Sección de concreto adecuada. 3. Eje neutro en perfil de acero.
III	$C > T$	$T < C < S^*$ $T < S^* < C$	$S^* = T < C$	$S^* < T < C$
		1. Acción totalmente compuesta.	1. Acción totalmente compuesta.	

		2. Sección de concreto adecuada. 3. Eje neutro en placa de concreto.	2. Sección de concreto adecuada. 3. Eje neutro en placa de concreto.	1. Acción parcialmente compuesta. 2. Sección de concreto adecuada. 3. Eje neutro en perfil de acero.
--	--	---	---	--

Traducido al Español de Vinnakota et al. 2003.

En este sentido, las normativas internacionales permiten el diseño de secciones parcialmente compuestas (1.3.3). En AISC 360-16 se propone una expresión para el cálculo del módulo de sección efectivo, referido al patín en tensión del elemento de acero. Esta expresión considera la reducción en la resistencia del sistema compuesto, inducida por los deslizamientos relativos entre la losa y el perfil.

$$S_{ef} = S_s + \sqrt{\frac{\sum Q_n}{C_f}} (S_{tr} - S_s) \quad (6-1)$$

Donde: S_{ef} : Módulo de sección efectivo, referido a la aleta en tensión de la viga de acero [mm³].

S_s : Módulo de sección viga de acero, referido a la aleta en tensión [mm³].

S_{tr} : Módulo de sección de la sección total (sin agrietamiento), referido a la aleta en tensión de la viga de acero [mm³].

Q_n : Resistencia nominal de un conector de cortante [N].

C_f : Fuerza de compresión en la losa de concreto para acción compuesta total [N].

Esta expresión se limita a una relación $\sum Q_n / C_f$ superior al 25%, dado que menores valores inducen a pérdidas relevantes en resistencia y rigidez.

La aplicación de la expresión (6-1), para el cálculo de deformaciones, implica el uso de la inercia efectiva de la sección, expresada como:

$$I_{ef} = I_s + \sqrt{\frac{\sum Q_n}{C_f}} (I_{tr} - I_s) \quad (6-2)$$

Donde: I_{ef} : Memento de inercia efectivo [mm⁴].

I_s : Momento de inercia del perfil de acero [mm^4].

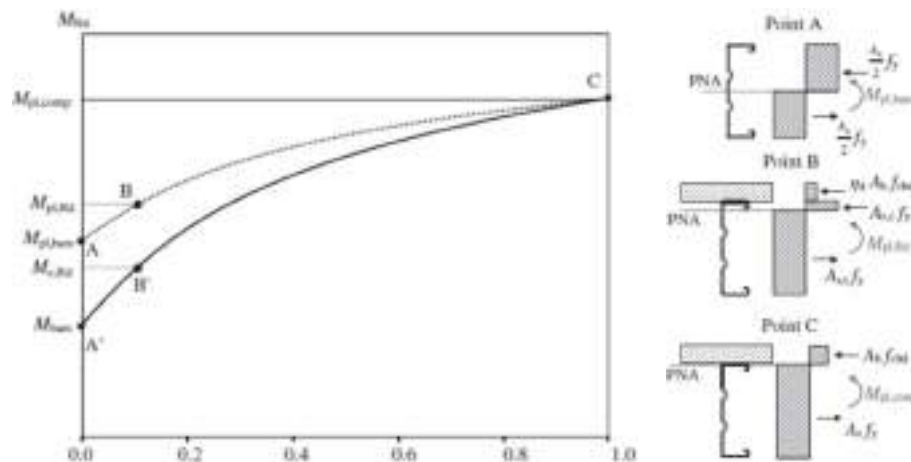
I_{tr} : Momento de inercia de la sección compuesta total [mm^4].

Q_n : Resistencia nominal de un conector de cortante [N].

C_f : Fuerza de compresión en la losa de concreto para acción compuesta total [N].

Otra alternativa para la estimación de la resistencia nominal a flexión de un sistema compuesto, es la interpolación en la curva de interacción, obtenida a partir de la evolución de la condición de máxima resistencia del perfil metálico, actuando como elemento independiente (0.0 – 0%), hasta la consideración de su aporte en una sección totalmente compuesta (1.0 – 100%), de acuerdo con lo planteado en investigaciones similares como las de Crisinel (1990), Kyvelou et al. (2018), Tahir et al. (2019), entre otros, donde se implementan curvas como la mostrada en la **Figura 6-3**.

Figura 6-3: Curva de interpolación de grado de interacción para secciones parcialmente compuestas.

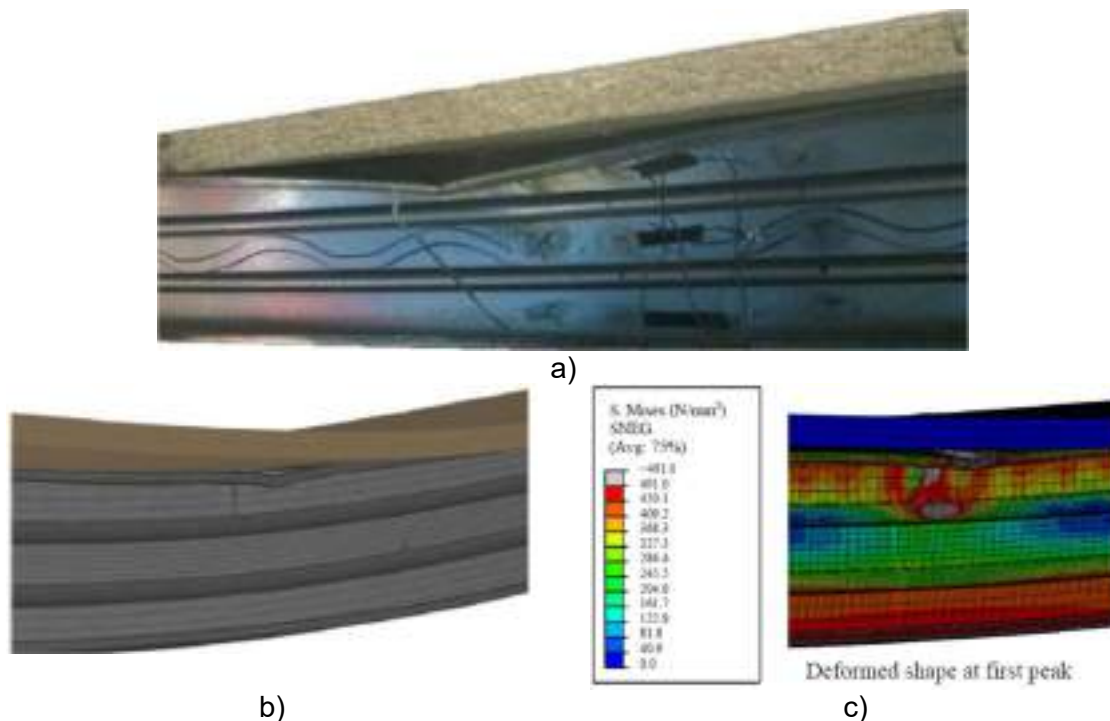


Tomado de Kyvelou et al. 2018.

Adicionalmente a la estimación analítica de capacidad a flexión, el desarrollo de modelos numéricos, empleando el método de los elementos finitos (*MEF*), ha permitido validar la evolución del comportamiento de sistemas compuestos con interacción parcial, y de acuerdo con la configuración analizada, han evidenciado incluso otros efectos, tales como la inestabilidad local para perfiles de lámina delgada *CFS*, indicada en la **Figura 6-4**. Ejemplo del uso de las simulaciones numéricas para el análisis de interacción parcial son

las investigaciones de Majdi et al. (2014), Lawan et al. (2015), Kyvelou et al. (2018), entre otros.

Figura 6-4: a). Probeta experimental espécimen en sección compuesta. b). Modelo de análisis numérico de sección compuesta. Malla de análisis. c). Modelo de análisis numérico de sección compuesta. Estado de esfuerzos bajo condición de pandeo local.

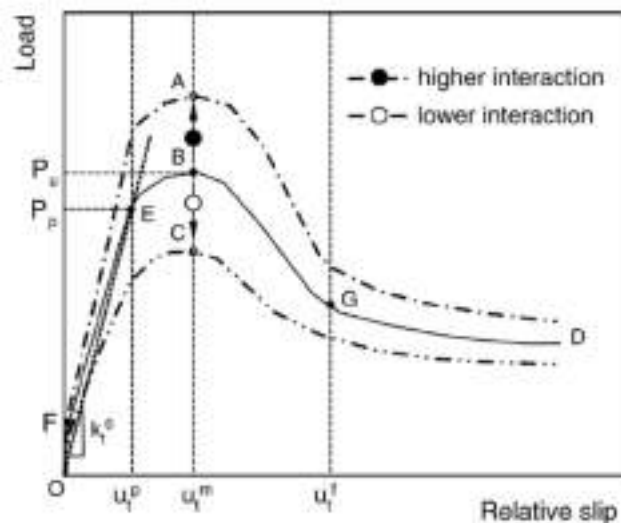


Tomado de Kyvelou et al. 2018.

Experimentalmente, o mediante simulación, la metodología para evaluar el grado de acción compuesta es por medio de la validación del comportamiento de vigas solicitadas a flexión.

Alternativamente, Jeong et al. (2005), proponen evaluar la capacidad de la acción parcialmente compuesta por medio de ensayos de corte directo tipo Push-Out. En su planteamiento, se analiza el resultado de las curvas de carga Vs. desplazamiento, identificando las zonas de pérdida de adherencia (F), comportamiento elástico (P_p), capacidad máxima (P_u), pérdida de interacción (G) y estabilización (D), identificadas en la **Figura 6-5**.

Figura 6-5: Curva Carga Vs Desplazamiento para evaluación de interacción para secciones parcialmente compuestas.



Tomado de Jeong et al. (2005).

A la fecha, no existen más referentes que den respaldo a esta metodología alternativa, y en los que se validen sus resultados con respecto a lo establecido en los ensayos tradicionales a flexión.

6.3 Descripción de probetas para ensayos experimentales de vigas a flexión

6.3.1 Caracterización de materiales

Los elementos de acero involucrados en la sección compuesta, tales como la viga, los conectores de cortante tipo CSC, el acero de refuerzo y los tornillos autoperforantes, fueron caracterizados con sus propiedades nominales, de acuerdo con la especificación propia del material, como se lista en la **Tabla 6-3**.

Tabla 6-3: Propiedades mecánicas nominales de los componentes de acero en probetas experimentales de ensayos a flexión.

	Conectores de cortante (ASTM A424 - Type II)	Tornillos autoperforantes (SAE 1022)	Acero de refuerzo (ASTM A706)	Perfil estructural (ASTM A1011)
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Módulo de elasticidad (Es)	200.000	200.000	200.000	200.000
Esfuerzo de fluencia (fy)	240	205	420	350
Esfuerzo último (fu)	350	380	560	420

Tomado de Hurtado & Molina, 2024

Para la investigación se dispuso de concreto con resistencias nominales a la compresión de 21MPa, 28MPa y 35MPa, de acuerdo como se registra en la **Tabla 6-4**. Una vez ensayados los cilindros testigo, se reportaron valores de 20.66MPa, 26.22MPa y 29.79MPa, respectivamente.

6.3.2 Montaje del ensayo

Los ensayos experimentales a flexión en vigas compuestas permiten conocer la evolución de respuesta lineal y no lineal del sistema, durante todo el proceso de carga hasta llegar a la falla, ya sea que esta se dé por mecanismos globales sobre todo el conjunto, o por inestabilidades locales de los componentes.

En este estudio, se llevaron a cabo pruebas experimentales en vigas cajón de 2m y 4m, simplemente apoyadas, armadas por perfiles CC220x80 en espesores de 2mm, 2.5mm y 3mm, las cuales se adosan a losas de concreto, con alturas de 100mm y 140mm, por medio del sistema de conectores de cortante tipo CSC y barras de refuerzo embebidas, separados 200mm, 300mm y 400mm, como se muestra en la **Figura 6-6**. a). El sistema de fijación incluye tornillos autoperforantes N°10 (4.83mm de diámetro) para todas las configuraciones, de acuerdo con los resultados experimentales obtenidos por Hutado & Molina, 2020. (**Figura 6-6**. b).)

Los extremos de los perfiles fueron reforzados mediante un relleno de concreto, en una longitud de 200mm, y barras pasantes, para mitigar la posibilidad de pandeos locales por las reacciones de los apoyos durante los ensayos, como se evidenció en la investigación

de Hurtado & Molina, 2020 (**Figura 6-6.** d) y e)). La configuración de las pruebas experimentales se presenta en la **Figura 6-6** y **Figura 6-7** a).

Figura 6-6: Proceso de elaboración de las probetas experimentales de ensayos a flexión. a) Instalación de conectores de cortante en vigas de acero. b) Detalle de conectores de cortante tipo CSC. c) Vaciado de placas de concreto. d) Detalle de cajón para relleno de concreto en extremos de viga metálica. e) Detalle de pasador en extremos de viga metálica.



a)

b)

c)



d)

e)

Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

La carga fue aplicada monotónicamente como acciones puntuales a los tercios de la luz en la máquina Universal, con capacidad de 2500kN, y fue transmitida a la probeta por

medio de perfiles rigidizados de acero estructural sobre la losa de concreto. El incremento de carga se realizó por control de desplazamientos del sistema (**Figura 2-9** y **Figura 6-7**).

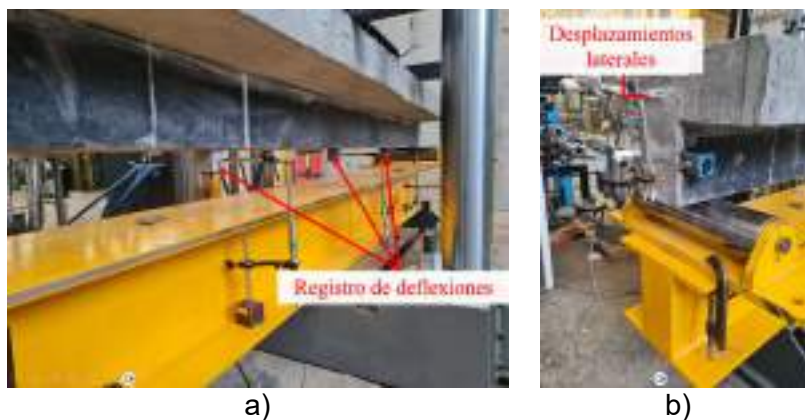
Figura 6-7: Montaje del ensayo experimental ensayos a flexión en vigas.



Modificado de Hurtado & Molina, 2024.

Las deflexiones se registraron utilizando LDVT's, ubicados a los tercios de la longitud, con el fin de validar la simetría en el comportamiento del sistema. Adicionalmente, se incluyó un LDVT para la medición de deflexiones en el centro de la luz, datos que fueron cotejados con respecto a las lecturas realizadas con un medidor laser. Del mismo modo, con el propósito de controlar posibles desplazamientos relativos laterales entre el perfil y la losa, se instaló un LDVT en cada extremo del espécimen de ensayo. La instrumentación del ensayo se presenta en la **Figura 6-8**.

Figura 6-8: Instrumentación del ensayo experimental de vigas a escala real. a). Control de deflexiones. b). Control de desplazamientos relativos de los componentes



Modificado de Hurtado & Molina, 2024.

6.3.3 Diseño experimental

Se planteó un diseño estadístico rotacional compuesto, centrado en las caras (3.4), en el cual se hace un filtrado estadístico de toda la gama de configuraciones posibles por el cruce de las variables en sus diferentes estados, para seleccionar las más representativas en el comportamiento del sistema compuesto, sin perder confiabilidad estadística. En este caso la resistencia a la compresión del concreto, el espesor de la losa de concreto, el espesor del perfil de acero, el espaciamiento entre conectores y la longitud de las vigas, se definieron como los parámetros de estudio. Los niveles de estudio se incluyen en la **Tabla 6-4**.

6.3.4 Análisis de cargas nominales de falla

El estudio analítico se centró en determinar el valor de carga máxima nominal de cada configuración, así como establecer posibles mecanismos de falla. De este modo, se evaluaron estados límite de falla por flexión elástica del sistema, corte en los tornillos autoperforantes, fractura en la losa de concreto y pandeo local del perfil de acero, a través de las expresiones de análisis de capacidad de la resistencia de materiales y la normatividad, permitiendo plantear un posible límite de cargas de trabajo previo a la falla, el cual también se incluye en la **Tabla 6-4**.

Tabla 6-4: Configuración de especímenes en ensayos vigas a flexión.

N°	Especimen	Perfil metálico	Espesor losa de concreto	Ancho losa de concreto	Resistencia a la compresión de concreto	Separación conectores	Carga nominal de falla vigas 2m	Mecanismo nominal de falla vigas 2m	Carga nominal de falla vigas 4m	Mecanismo nominal de falla vigas 4m
			[mm]	[mm]	[MPa]	[mm]	[kN]		[kN]	
1	F2/4-2-21-100@200	2 CC220x80x2	100	600	21	200	116.96	Cortante en perfil	102.51	Flexión del sistema
2	F2/4-3-21-100@200	2 CC220x80x3	100	600	21	200	173.29	Corte en tornillos	143.33	Flexión del sistema
3	F2/4-2.5-28-140@200	2 CC220x80x2.5	140	600	28	200	173.29	Corte en tornillos	159.13	Flexión del sistema
4	F2/4-2-35-100@200	2 CC220x80x2	100	600	35	200	130.56	Cortante en perfil	106.20	Flexión del sistema
5	F2/4-3-35-100@200	2 CC220x80x3	100	600	35	200	173.29	Corte en tornillos	147.86	Flexión del sistema
6	F2/4-2.5-21-140@300	2 CC220x80x2.5	140	600	21	300	144.41	Corte en tornillos	154.60	Flexión del sistema

7	F2/4-2.5-28-100@300	2 CC220x80x2.5	100	600	28	300	144.41	Corte en tornillos	125.03	Flexión del sistema
8	F2/4-2-28-140@300	2 CC220x80x2	140	600	28	300	144.41	Corte en tornillos	135.50	Flexión del sistema
9	F2/4-2.5-28-140@300	2 CC220x80x2.5	140	600	28	300	144.41	Corte en tornillos	159.13	Flexión del sistema
10	F2/4-3-28-140@300	2 CC220x80x3	140	600	28	300	144.41	Corte en tornillos	183.28	Flexión del sistema
11	F2/4-2.5-35-140@300	2 CC220x80x2.5	140	600	35	300	144.41	Corte en tornillos	163.00	Flexión del sistema
12	F2/4-2-21-100@400	2 CC220x80x2	100	600	21	400	115.53	Corte en tornillos	102.51	Flexión del sistema
13	F2/4-3-21-100@400	2 CC220x80x3	100	600	21	400	115.53	Corte en tornillos	143.33	Flexión del sistema
14	F2/4-2.5-28-140@400	2 CC220x80x2.5	140	600	28	400	115.53	Corte en tornillos	159.13	Flexión del sistema
15	F2/4-2-35-100@400	2 CC220x80x2	100	600	35	400	115.53	Corte en tornillos	106.20	Flexión del sistema
16	F2/4-3-35-100@400	2 CC220x80x3	100	600	35	400	115.53	Corte en tornillos	147.86	Flexión del sistema

Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

La nomenclatura empleada en la identificación de especímenes corresponde en su orden con la longitud de la viga (2m/4m), el espesor del perfil de acero (2.0mm/2.5mm/3.0mm), la resistencia nominal del concreto (21MPa/28 MPa /35 MPa), el espesor de la losa de concreto (100mm/140mm) y la separación entre conectores (200mm/300mm/400mm). De este modo, la probeta número 1, identificada como *F2 2-21-100@200*, corresponde a una viga de 2m de longitud, la cual cuenta con una losa de concreto de 21MPa y 100mm de espesor, adosada a un perfil de 2mm por medio de conectores de cortante tipo CSC espaciados cada 200mm.

6.4 Presentación y discusión de resultados

6.4.1 Comparación de resultados analíticos vs. resultados experimentales

El resumen de datos experimentales de cargas de falla y desplazamientos asociados de presentan en la **Tabla 6-5**.

Tabla 6-5: Registro de datos ensayos experimentales ensayos a flexión en vigas.

N°	ESPECIMEN	Carga máxima exper.	Deflexión asociada a carga máxima	Momento máximo experimental	Relación P_u/P_y	% sección compuesta experimental	% sección compuesta estimación
		[kN]	[mm]	[kN-m]		[%]	[%]
1	F4-2.5-21-140@300	103.77	26.47	72.64	67%	48%	65%
2	F4-2-21-100@200	52.07	18.94	36.45	51%	13%	59%
3	F4-3-21-100@400	103.47	26.12	72.19	72%	45%	67%
4	F4-2-21-100@400	85.48	48.14	59.84	83%	71%	60%
5	F4-3-21-100@200	135.60	42.75	94.92	95%	89%	67%
6	F2-2-21-100@200	194.77	22.05	68.17	95%	91%	80%
7	F2-3-21-100@400	282.78	26.27	98.97	99%	97%	91%
8	F2-3-21-100@200	302.41	29.90	105.84	105%	111%	90%
9	F2-2-21-100@400	166.29	19.44	58.20	81%	67%	80%
10	F2-2.5-21-140@300	262.47	22.09	91.86	85%	76%	88%
11	F2-2-35-100@200	221.12	22.03	77.39	104%	107%	80%
12	F2-2.5-35-140@300	267.63	22.33	93.67	82%	72%	88%
13	F2-2-35-100@400	167.08	22.41	58.48	79%	63%	80%
14	F2-3-35-100@200	308.07	26.86	107.83	104%	108%	90%
15	F2-3-35-100@400	273.84	20.55	95.84	93%	86%	91%
16	F4-3-35-100@400	129.93	51.88	90.95	88%	77%	67%
17	F4-2-35-100@400	85.89	40.93	60.12	81%	67%	60%
18	F4-3-35-100@200	142.82	39.59	99.97	97%	93%	67%
19	F4-2-35-100@200	109.98	50.04	76.99	104%	106%	59%
20	F4-2.5-35-140@300	104.30	32.85	73.01	64%	44%	65%
21	F4-2.5-28-140@300	112.96	32.08	79.07	71%	55%	65%
22	F4-2.5-28-100@300	111.97	27.13	78.38	90%	81%	63%
23	F4-3-28-140@300	126.84	31.42	88.78	69%	50%	69%
24	F4-2.5-28-140@400	97.63	38.57	68.34	61%	39%	65%
25	F4-2-28-140@300	113.16	53.88	79.21	84%	75%	61%
26	F2-2.5-28-140@400	221.09	24.15	77.38	69%	52%	88%
27	F2-2-28-140@300	224.04	15.63	78.41	83%	74%	82%
28	F2-2.5-28-140@300	299.52	33.86	104.83	94%	91%	88%
29	F2-3-28-140@300	300.37	22.23	105.13	82%	71%	93%
30	F2-2.5-28-140@200	293.94	26.19	102.88	92%	88%	88%
31	F2-2.5-28-100@300	255.33	22.52	89.37	102%	104%	86%
32	F4-2.5-28-140@200	117.58	31.43	77.16	74%	52%	65%

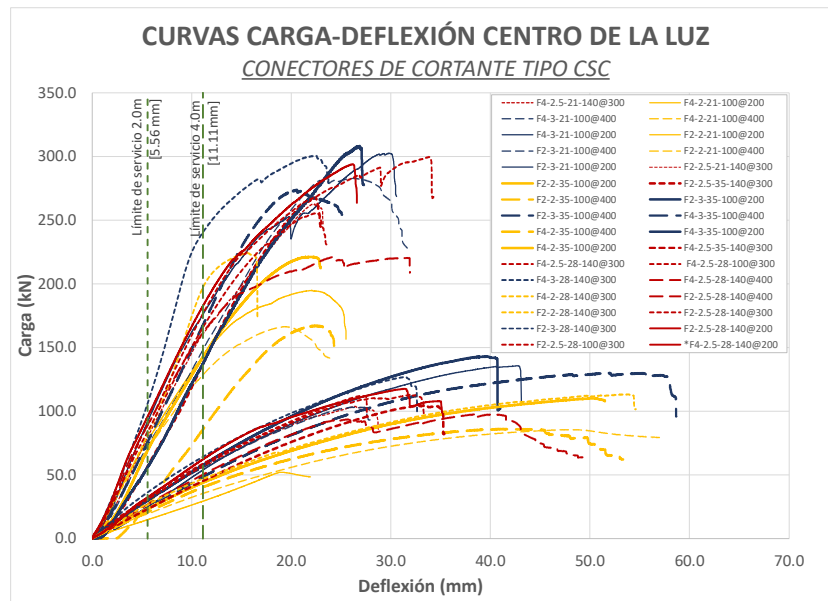
Tomado de Hurtado & Molina, 2024

En esta tabla, adicionalmente, se incluye la relación de carga máxima experimental Vs. la carga nominal estimada, donde se aprecian relaciones de aproximación entre el 50% y el 105%, logrando correlacionar analíticamente las condiciones de capacidad del sistema. Cabe destacar que los mayores índices corresponden a la falla por flexión en las vigas con menores espaciamientos entre conectores. Es de notar que la probeta número 2 (F4-2-21-100@200) presenta un valor de acción compuesta del 13%, el cual se considerado como atípico, ya que durante el proceso de carga tuvo un periodo prolongado de acomodación antes de registrar lecturas.

Se evidencia que mayores espesores de perfiles de acero y mayores resistencias de concreto potencian la capacidad del sistema, pero es la separación entre conectores la variable que garantiza el trabajo en sección compuesta y su grado de interacción.

La longitud de las vigas marca tendencias claramente diferenciables en la respuesta estructural, como se aprecia en la **Figura 6-9**, donde las probetas con longitud de 4m presentan mayores deflexiones con respecto a las vigas de 2m, con cargas de falla incluso inferiores al 50%.

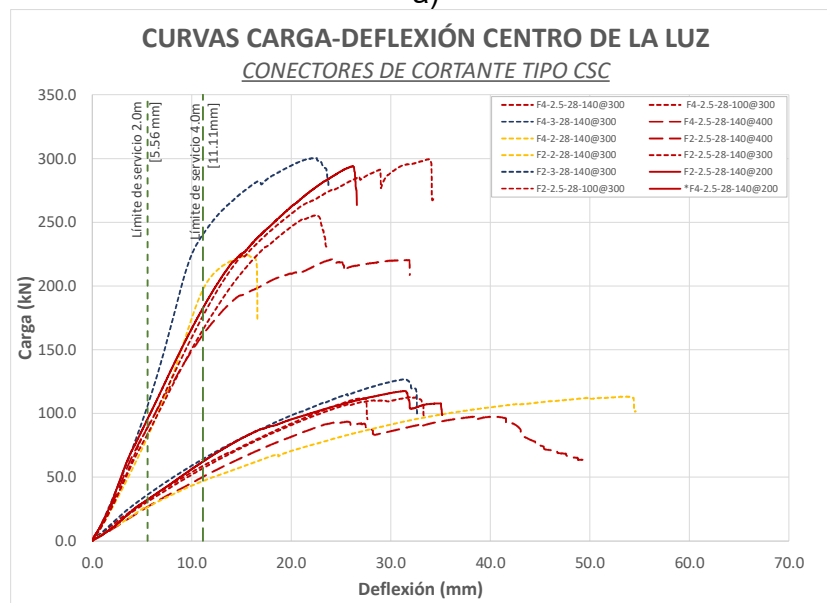
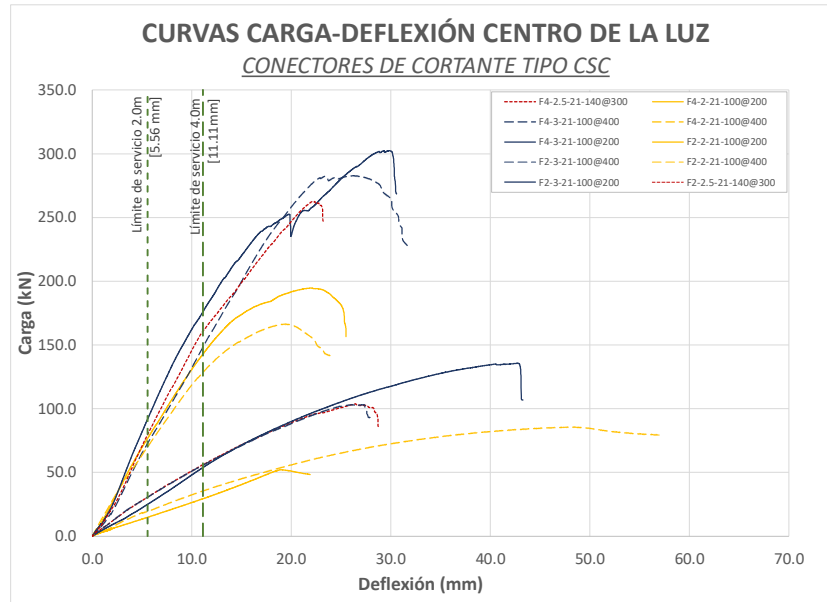
Figura 6-9: Curva de respuesta experimental Carga Vs. Deflexión en el centro de la luz.

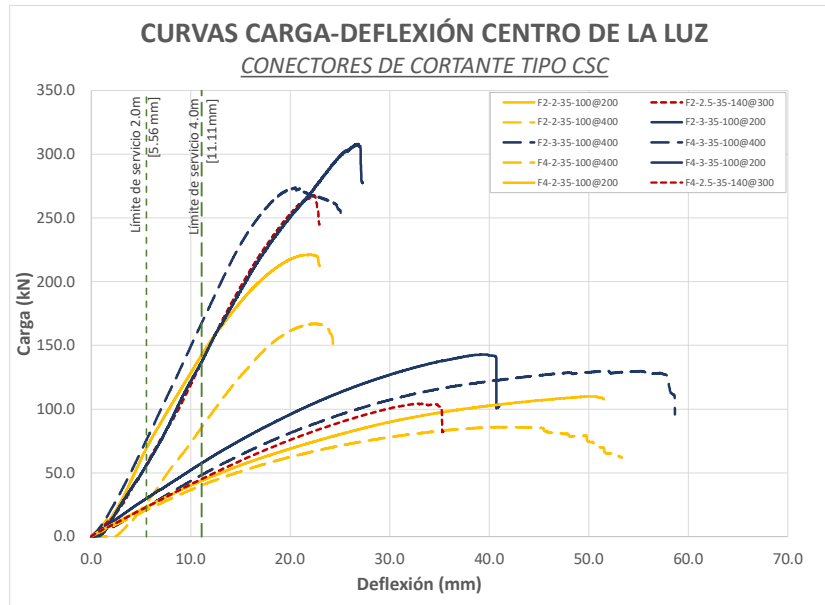


Modificado de Hurtado & Molina, 2024

A continuación, se separan las gráficas por variable de incidencia para facilitar la interpretación del aporte de cada parámetro en la evolución del comportamiento de los sistemas compuestos.

Figura 6-10: Curva de respuesta experimental Carga Vs. Deflexión en el centro de la luz. Incidencia de la resistencia del concreto. a) 21MPa. b) 28MPa. c) 35MPa

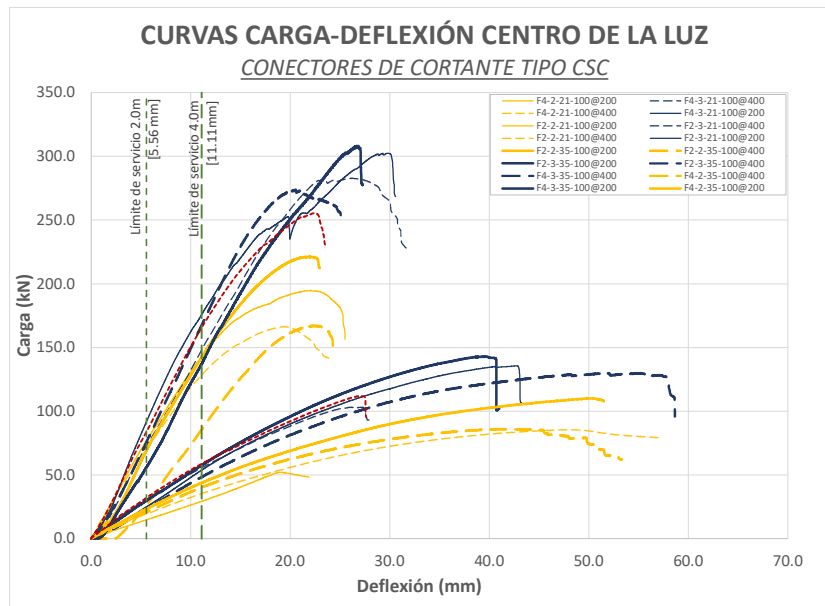




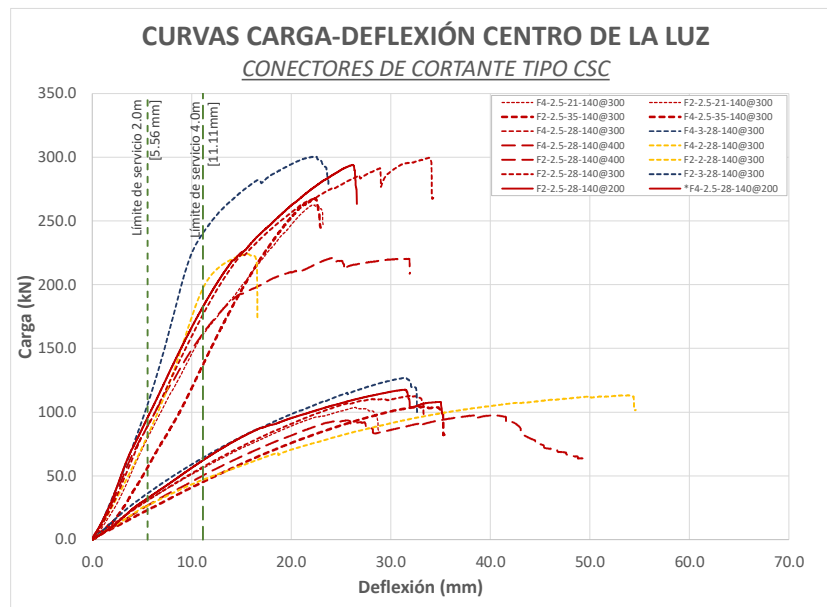
c)

Modificado de Hurtado & Molina, 2024

Figura 6-11: Curva de respuesta experimental Carga Vs. Deflexión en el centro de la luz.
Incidencia del espesor de la losa de concreto. a) 100mm. b) 140mm.



a)

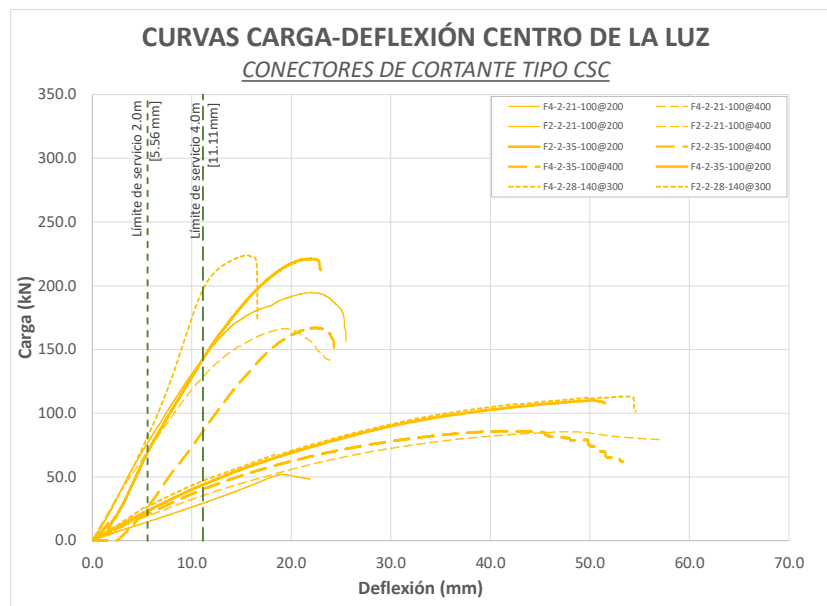


b)

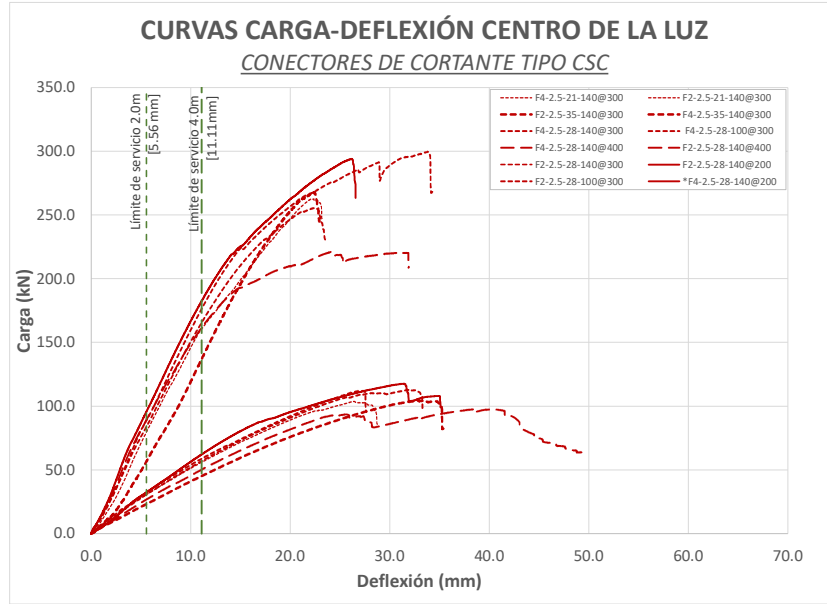
Modificado de Hurtado & Molina, 2024

Figura 6-12: Curva de respuesta experimental Carga Vs. Deflexión en el centro de la luz.

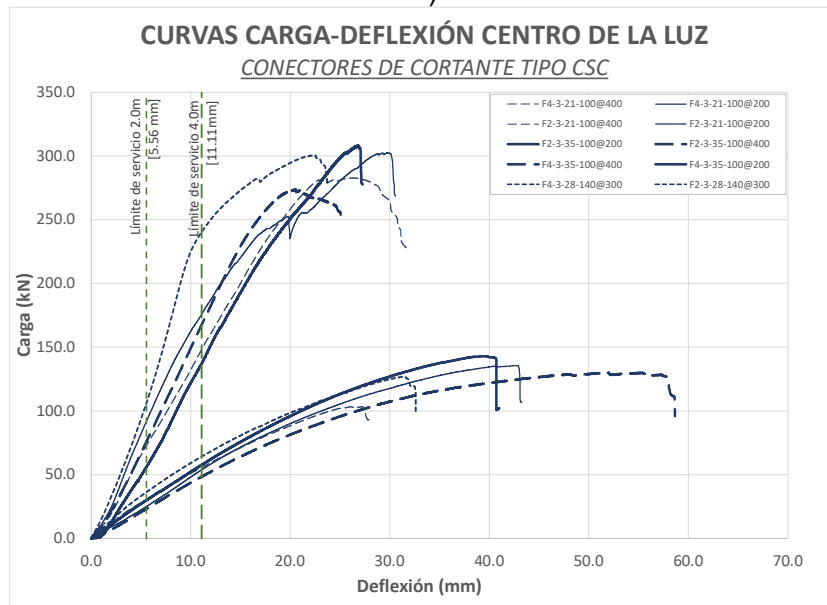
Incidencia del espesor del perfil de acero CFS. a) 2.0mm. b) 2.5mm. c) 3.0mm



a)



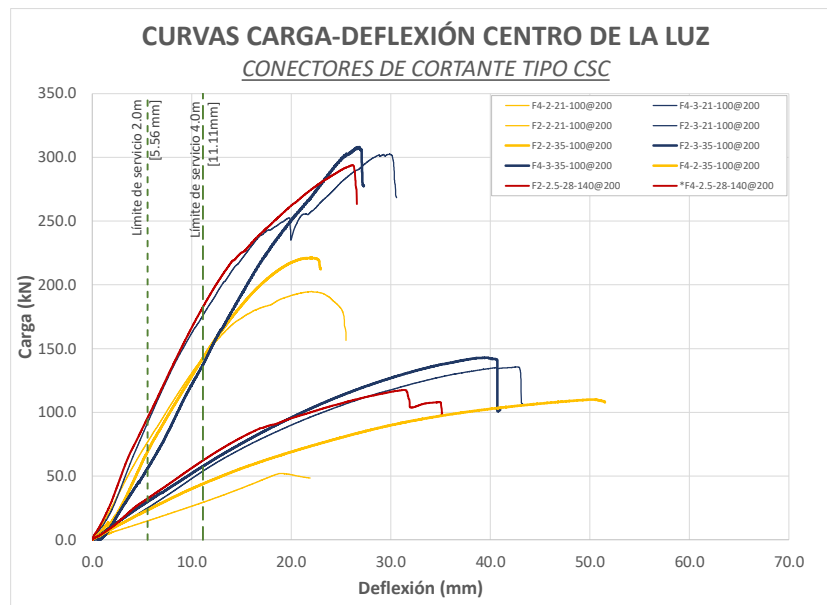
b)



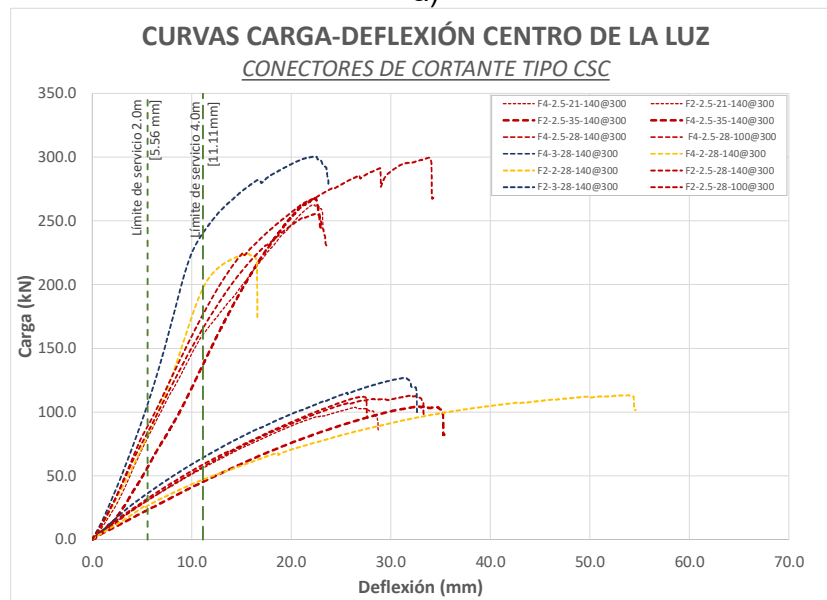
c)

Modificado de Hurtado & Molina, 2024

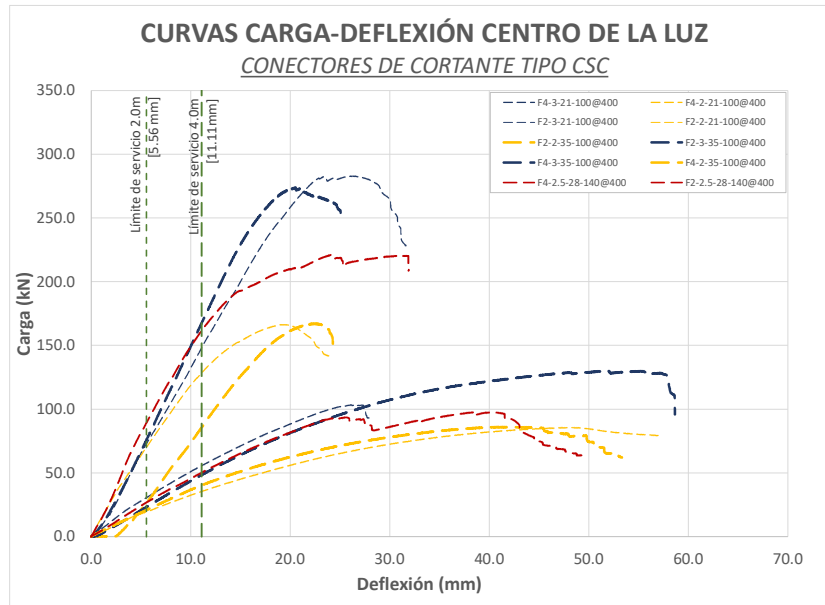
Figura 6-13: Curva de respuesta experimental Carga Vs. Deflexión en el centro de la luz. Incidencia del espaciamiento entre conectores. a) 200mm. b) 300mm. c) 400mm.



a)



b)

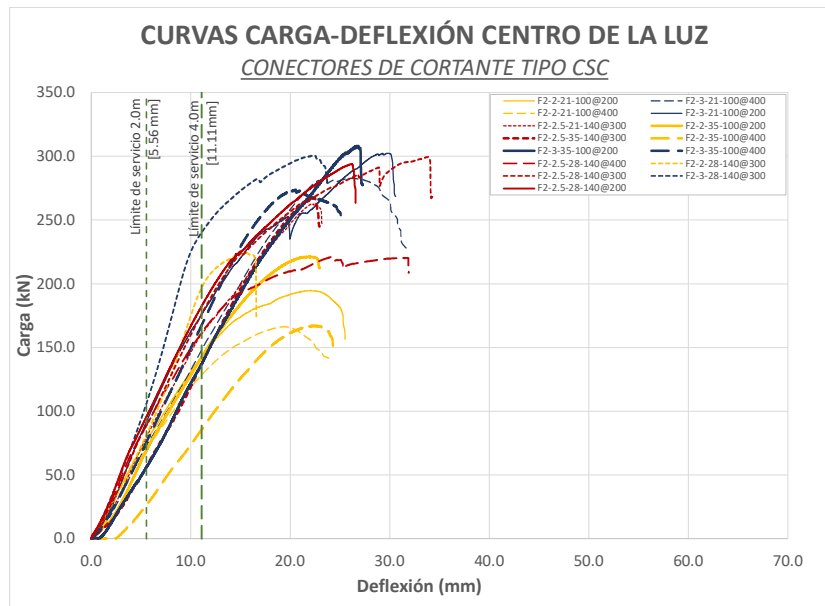


c)

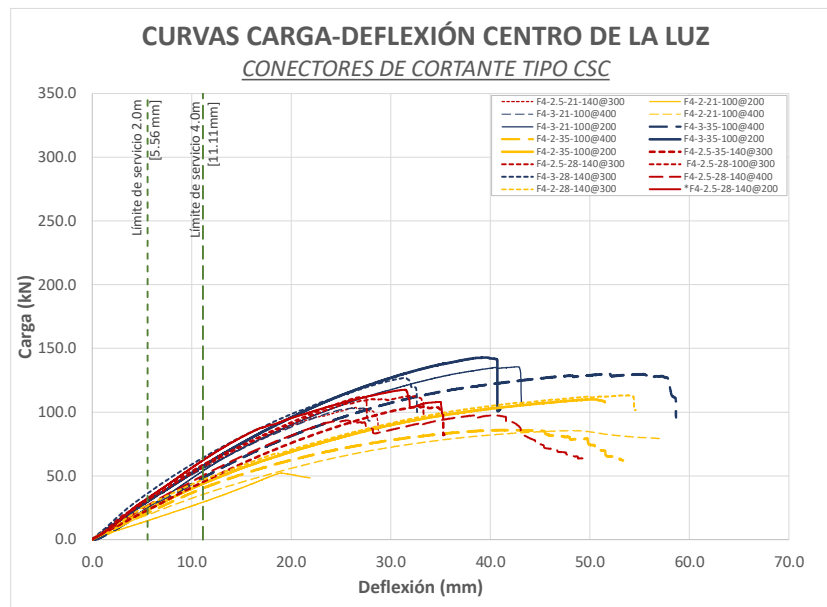
Modificado de Hurtado & Molina, 2024

Figura 6-14: Curva de respuesta experimental Carga Vs. Deflexión en el centro de la luz.

Incidencia de la longitud de la probeta. a) 2.0m. b) 4.0m.



a)



b)

Modificado de Hurtado & Molina, 2024

En general, de acuerdo con las tendencias evidenciadas en curvas mostradas en las **Figura 6-9** a **Figura 6-13**, se observa que la rigidez del sistema se ve incrementada por el aumento de la resistencia del concreto, del espesor de la losa y del perfil de acero, con la reducción del espaciamiento entre conectores, obteniendo cargas de falla relativamente mayores y menores desplazamientos finales.

El aporte de la longitud es evidente en las figuras **Figura 6-9** y **Figura 6-14**, con estados de carga máxima del orden del 200% en las vigas de 2m, asociados a desplazamientos del orden del 50% con respecto a las vigas de 4m. Como se detallará posteriormente, esta marcada discrepancia implica diferencias notables en los modos de falla de las probetas.

En el análisis estadístico se cuantifica el efecto de cada parámetro en la respuesta del sistema, en función de la carga de falla, los desplazamientos últimos y el aporte en la acción compuesta.

El grado de acción compuesta evaluado, corresponde con la interpolación lineal, según el planteamiento mostrado en la **Figura 6-3**, considerando como límite inferior la capacidad a flexión aportada exclusivamente por el perfil de acero, y como límite superior la máxima

capacidad elástica del sistema compuesto, de acuerdo con las recomendaciones de análisis de *AISC* y *Eurocódigo4* para este tipo de secciones de acero de lámina delgada.

Con base en los resultados experimentales, y valoración analítica, se encontró que la acción compuesta en las probetas experimentales está en un rango entre el 40% y el 100%. Asimismo, se evidencia la incidencia de los parámetros en estudio en las diferentes configuraciones, siendo de mayor relevancia el espaciamiento entre conectores. Los valores que exceden al 100% indican que el comportamiento del sistema incursiona en el rango inelástico.

6.4.2 Mecanismo de falla

Entre los parámetros en estudio, es la longitud de las probetas la variable que marca la drástica diferencia en la respuesta estructural de los sistemas compuestos, ante solicitaciones de flexión, como se puede interpretar de las curvas observadas en la **Figura 6-9** y **Figura 6-14**.

Este comportamiento va en línea con los principios de la mecánica estructural, donde se esperaría que a menor longitud de las probetas se presenten menores deflexiones y mayores resistencias, asociado a los mayores esfuerzos por corte que se inducen en estas configuraciones. En la medida que se incrementan las longitudes, los esfuerzos por flexión tienen mayor relevancia, invirtiendo la respuesta: mayores deflexiones y menores resistencias. De este modo, cada tendencia de comportamiento implica diferente respuesta en la evolución de la carga, y por ende, distintos mecanismos de falla.

La **Figura 6-15** muestra el mecanismo de falla para las vigas cortas (2m). Dada la geometría de estas probetas, predominan los esfuerzos cortantes en la sección, los cuales se transmiten por la interfaz del sistema, hasta llegar a superar la capacidad por corte de los tornillos, induciendo a su falla, lo que conlleva a la separación del perfil y de la losa de concreto. Por lo tanto, al no haber conexión, el trabajo mecánico de cada componente se desarrolla de manera independiente, hasta alcanzar la falla individual de cada uno de los elementos, con el incremento de los desplazamientos: se presenta fractura transversal por corte en la losa de concreto y pandeo local del alma en los elementos de acero.

Figura 6-15: Mecanismo de falla por corte para vigas en sección compuesta de 2m de longitud. a) Montaje experimental. b) Condición de flexión máxima en el sistema. c) Corte en los tornillos autoperforantes y desacople del sistema. d) Fractura de la losa de concreto. e) Pandeo local de la sección de acero.



a)



b)



c)



d)



e)

Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

Comparativamente, el mecanismo de falla de las vigas largas (4m) es mostrado en la **Figura 6-16**. Este inicia con una condición de mayores deflexiones, hasta generar el desplazamiento relativo de la losa de concreto sobre el perfil de acero. En ese punto ya hay pérdida parcial de acción compuesta, con rotación de los tornillos autoperforantes del sistema de fijación. Tras el incremento de carga continúa la pérdida gradual de la acción compuesta, hasta el desacople del sistema. Una vez se separan los componentes del conjunto, se da inicio al trabajo mecánico de forma independiente, de una parte, la flexión en el perfil *CFS* induce al pandeo en la sección transversal, evidenciándose distorsión longitudinal de la lámina lateral, en la zona sometida a compresión por flexión. Por otra parte, el aumento de deflexiones de la losa al solo contar con su propia rigidez conlleva a su fractura.

Figura 6-16: Mecanismo de falla por flexión para vigas en sección compuesta de 4m de longitud. a) Montaje experimental. b) Condición de flexión máxima en el sistema. c) Deslizamiento relativo de losa de concreto sobre sección de acero. d) Inicio de fisuración en losa de concreto. e) Pandeo local longitudinal visto como distorsión de la sección transversal de acero.



a)



b)



c)



d)



e)

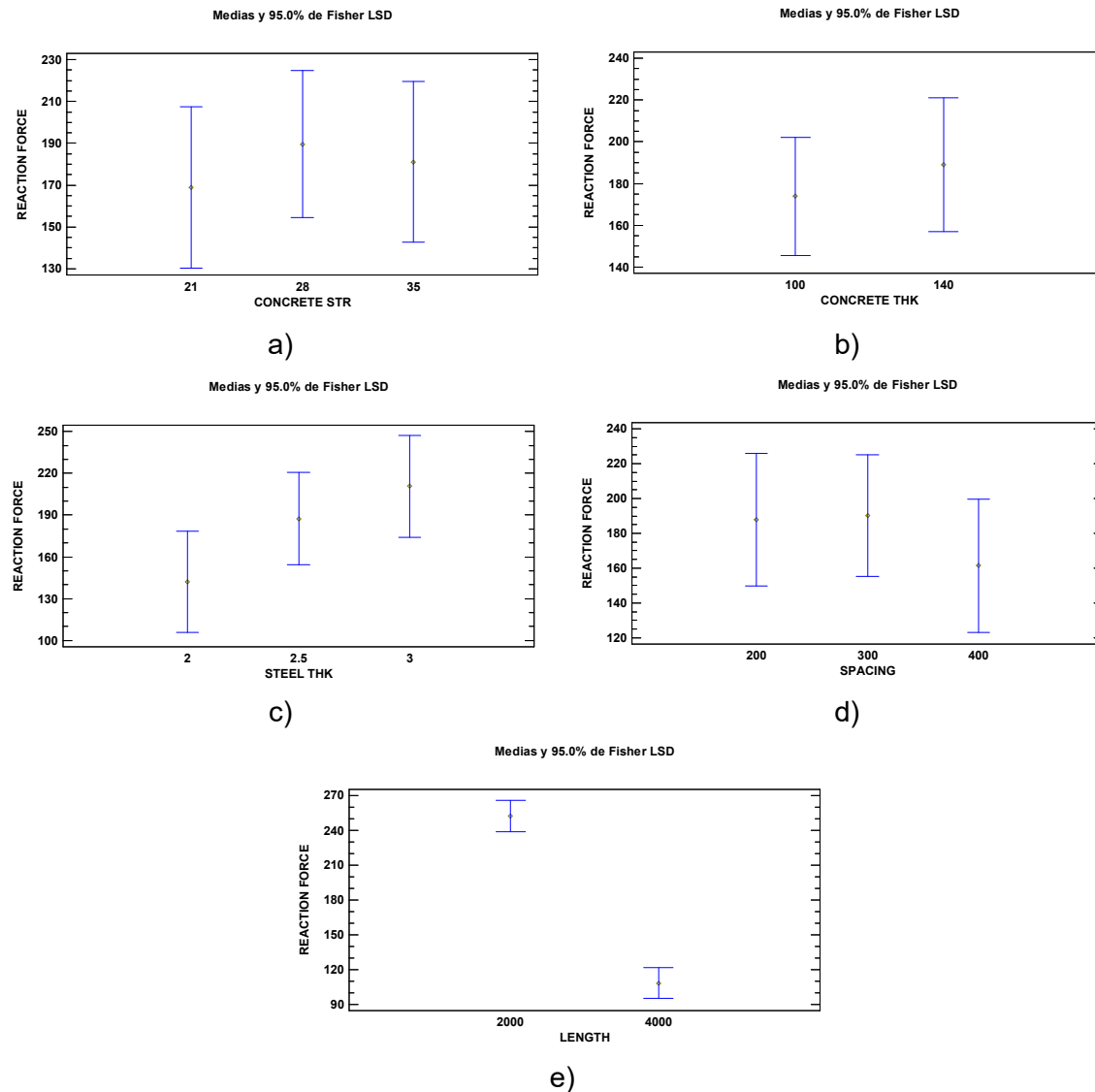
Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

6.4.3 Respuesta estadística

El análisis estadístico planteado permite evaluar la incidencia de las variables involucradas en el estudio en la capacidad máxima del sistema compuesto en el desarrollo experimental: (A) resistencia a la compresión del concreto, (B) espesor de la losa de concreto, (C) espesor del perfil de acero, (D) espaciamiento entre conectores y (E) longitud de las vigas.

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico, incluidos en la **Figura 6-17**, en orden de relevancia, la longitud de los especímenes, el espesor de los perfiles y el espaciamiento entre conectores son los parámetros que determinan la capacidad del sistema compuesto solicitado a flexión. Las variables restantes no generan diferencias significativas en la estimación de la fuerza máxima, considerándose respuestas estadísticamente iguales.

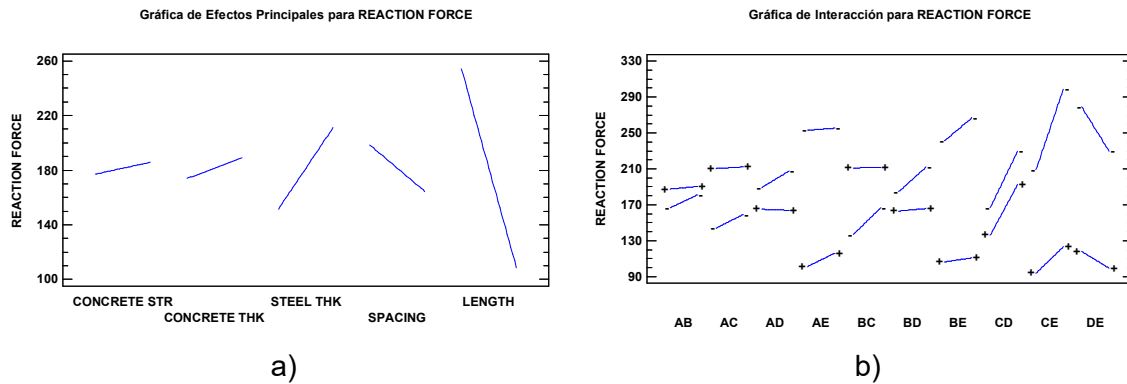
Figura 6-17: Gráfica de medias con intervalo de confianza de respuesta experimental de carga máxima con 95% de probabilidad. a) Resistencia del concreto a compresión. b) Espesor de la losa de concreto. c) Perfil de acero. d) Espaciamiento entre conectores. e) Longitud de las vigas.



Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

En la **Figura 6-18** se incluye el gráfico de respuesta de efectos de los parámetros involucrados en esta fase de la investigación, así como el diagrama de interacción de efectos, donde se concluye que dentro de los rangos de trabajo no existe correlación directa entre variables, sino que cada una de ellas cuenta con independencia estadística en la respuesta del sistema para el análisis de cargas de falla.

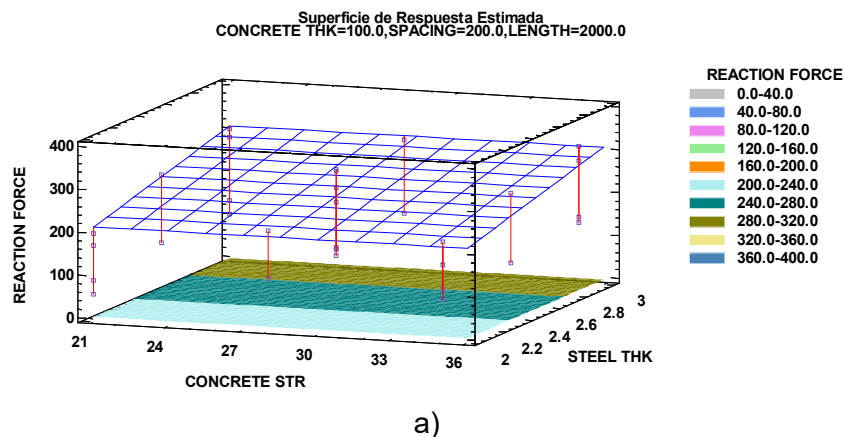
Figura 6-18: a) Gráfica de efectos principales para la respuesta de la carga de falla. b) Gráfica de interacción de variables para respuesta de cargas de falla.

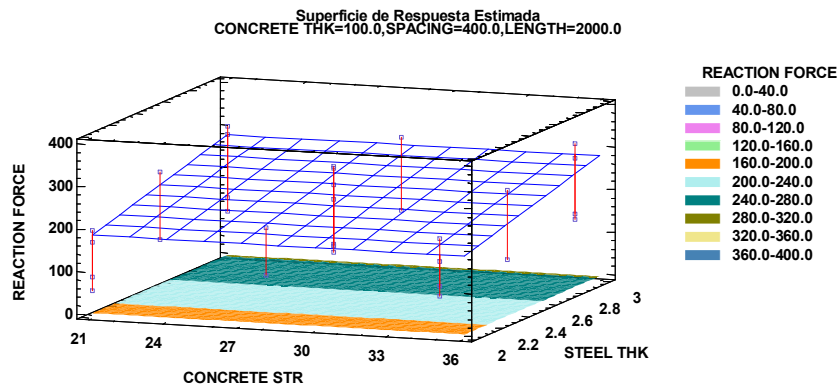


Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

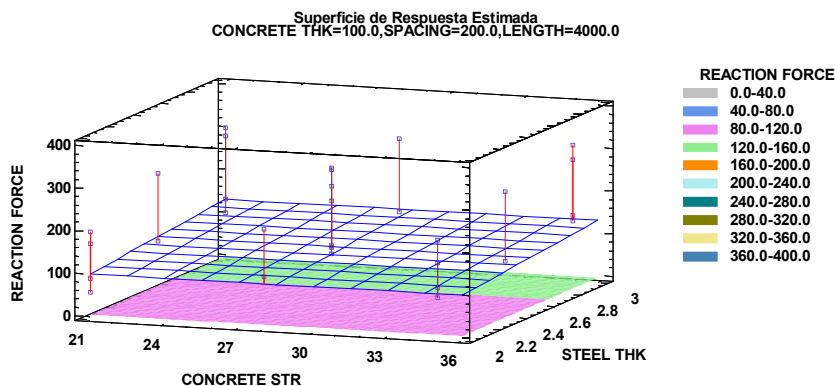
Ante la notable diferencia del comportamiento de las vigas de 2m y 4m, se generan las superficies de respuesta para la interpolación estadística de las cargas máximas del sistema, retirando del análisis los parámetros poco representativos, que en este caso fueron el espesor de la losa de concreto y la resistencia a la compresión del concreto. (Véase **Figura 6-19**).

Figura 6-19: Superficies de respuesta para cargas de falla. a) Espécimen longitud 2m – Separación 200mm. b) Espécimen longitud 2m – Separación 400mm. c). Espécimen longitud 4m – Separación 200mm. d) Espécimen longitud 4m – Separación 400mm.

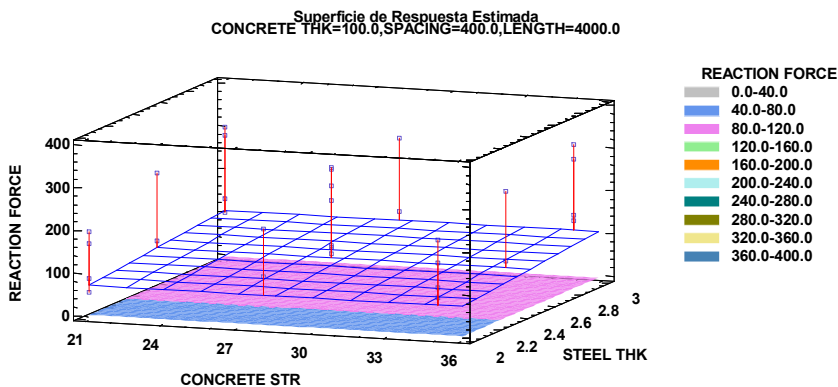




b)



c)



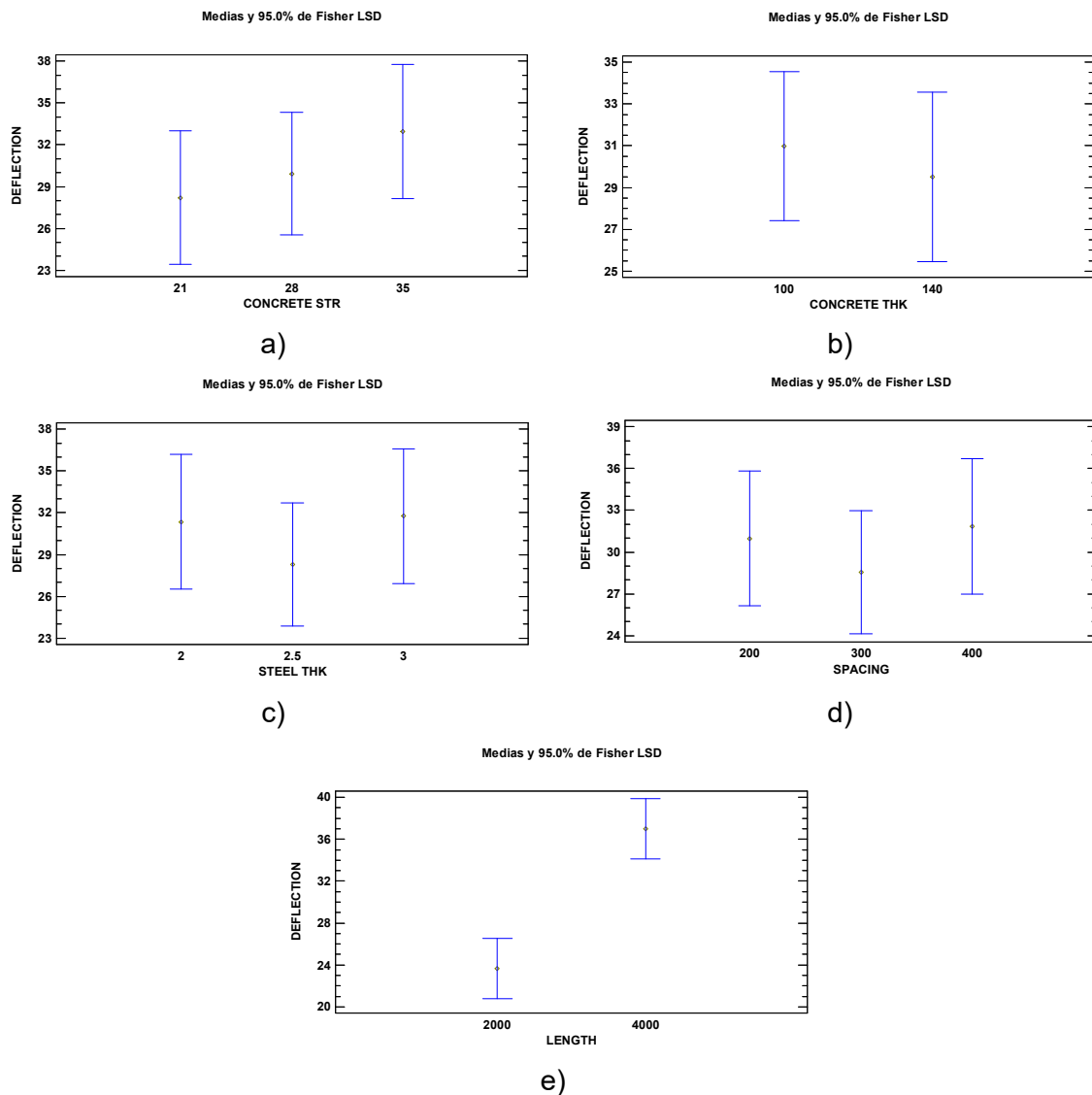
d)

Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

La respuesta de desplazamientos del sistema es concordante con la condición de carga máxima, considerando la longitud como el parámetro estadísticamente más relevante (**Figura 6-20 e**). Aunque los demás factores en estudio no llegan a tener una significancia estadística para el 95% de confiabilidad, para este caso se presentan interacciones entre algunos de ellos, como se muestra en la **Figura 6-21**, indicando que la deflexión también

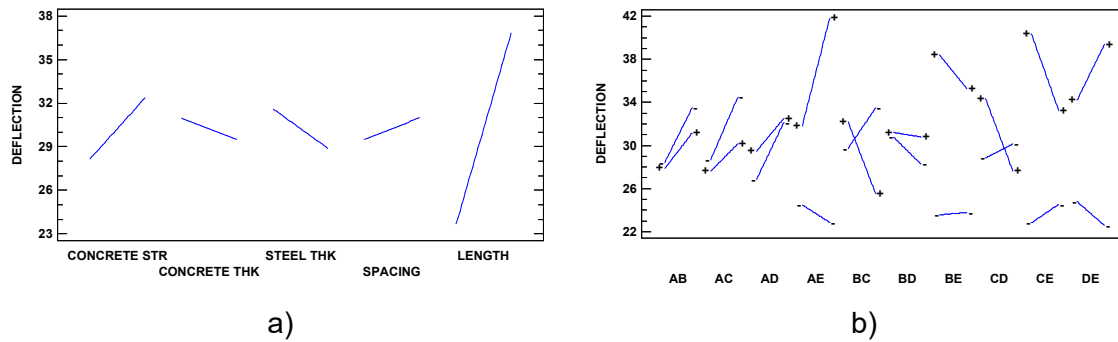
es afectada por la interacción de variables, pero en menor grado con respecto al aporte de la longitud.

Figura 6-20: Gráfica de medias con intervalo de confianza de respuesta experimental de desplazamientos con 95% de probabilidad. a) Resistencia del concreto a compresión. b) Espesor de la losa de concreto. c) Perfil de acero. d) Espaciamiento entre conectores. d) Longitud de las vigas.



Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

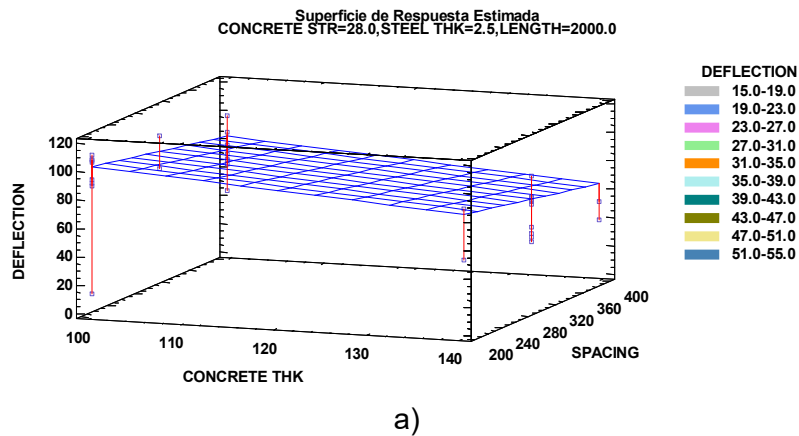
Figura 6-21: a) Gráfica de efectos principales para la respuesta de desplazamientos. b) Gráfica de interacción de variables para respuesta de desplazamientos.

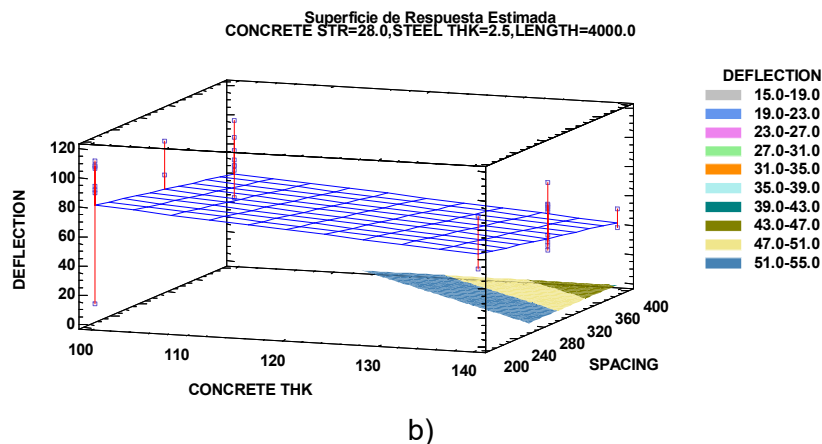


Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

La interpolación de valores de desplazamiento se proyecta en las superficies de respuesta incluidas en la **Figura 6-22**, omitiendo los factores no representativos estadísticamente.

Figura 6-22: Superficies de respuesta para desplazamientos. a) Espécimen longitud 2m. b) Espécimen longitud 4m.

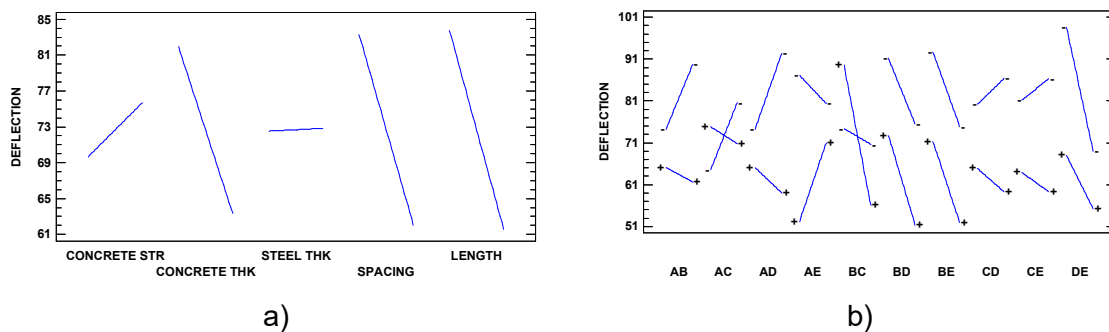




Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

Adicionalmente, el registro experimental de datos y la comparación con el análisis elástico nominal permitieron identificar la longitud, el espesor de la losa de concreto y el espaciamiento entre conectores como los parámetros que condicionan el trabajo de las configuraciones en estudio como acción compuesta, desde el punto de vista estadístico, presentándose incluso interacciones entre ellos (**Figura 6-23**). Las demás variables no evidencian mayor efecto en la respuesta del sistema.

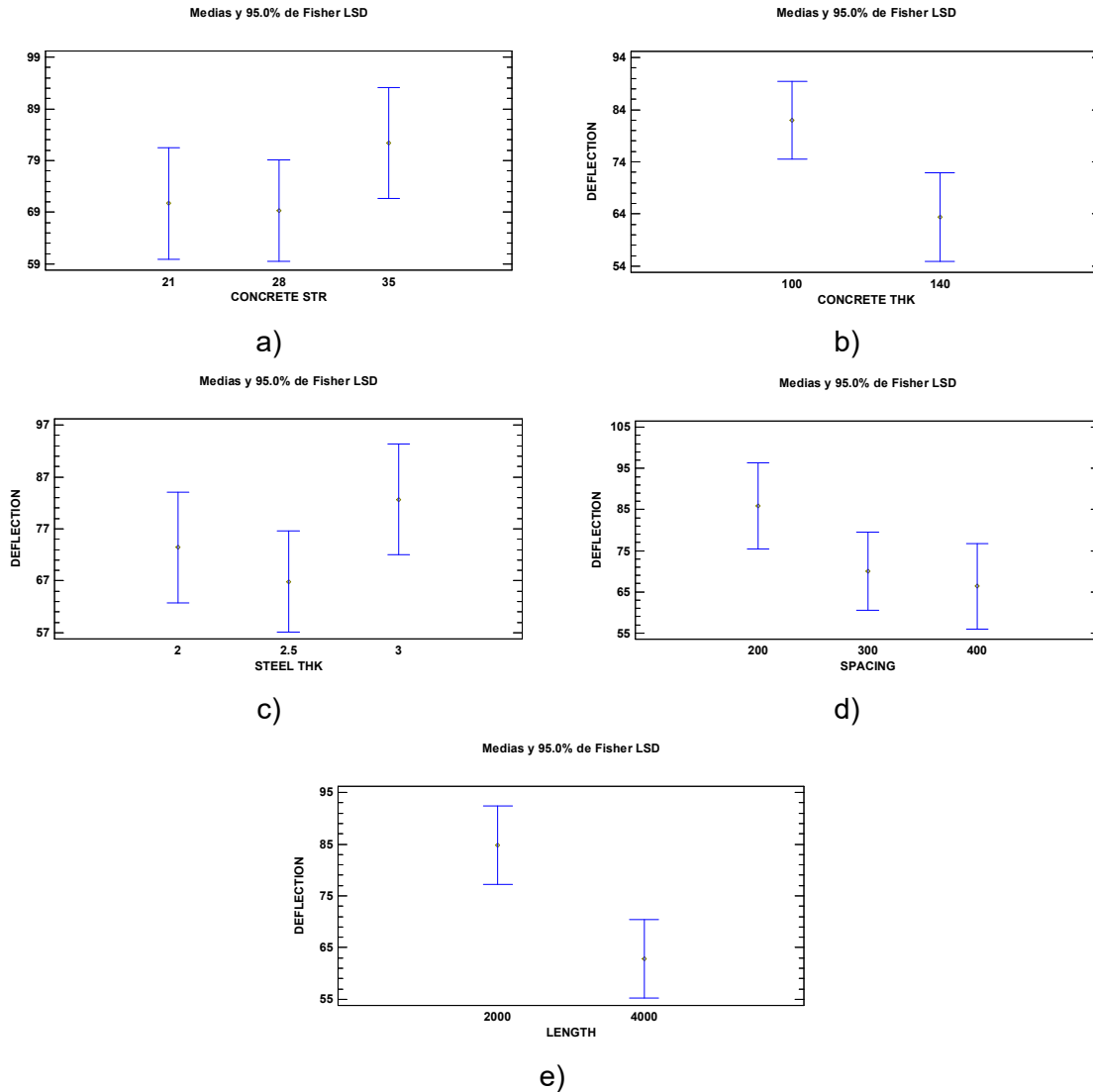
Figura 6-23: a) Gráfica de efectos principales para la respuesta de acción compuesta. b) Gráfica de interacción de variables para respuesta de acción compuesta.



Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

De igual manera, se presentan las gráficas de comparaciones de medias (**Figura 6-24**), donde se evidencia el aporte de cada parámetro en la respuesta del sistema compuesto.

Figura 6-24: Gráfica de medias con intervalo de confianza de respuesta experimental de acción compuesta con 95% de probabilidad. a) Resistencia del concreto a compresión. b) Espesor de la losa de concreto. c) Perfil de acero. d) Espaciamiento entre conectores. d) Longitud de las vigas.



Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

6.4.4 Análisis paramétrico

El análisis paramétrico permitió evaluar la incidencia de la variación de los valores de los diferentes factores en estudio en la capacidad del sistema compuesto.

▪ ***Efecto de la resistencia a la compresión del concreto***

La fractura en las placas de concreto se presentó como parte del mecanismo conjunto de falla del sistema compuesto en todos los especímenes (**Figura 6-15 d**) y **Figura 6-16 d**)).

En principio, como se aprecia en la **Figura 6-18 a**), el incremento en la resistencia del concreto permite obtener mayores valores en la carga final del sistema. Estadísticamente, según se muestra en **Figura 6-17 a**), estos estados máximos de carga obtenidos experimentalmente se pueden lograr con cualquiera de las resistencias a la compresión de concreto consideradas en este estudio, contando con intervalos de confianza del 95% de confiabilidad. De este modo, se concluye que esta variable no representa relevancia estadística significativa en la respuesta de capacidad del sistema tanto a nivel de cargas como para la condición de desplazamientos, ni en el aporte de la acción compuesta.

▪ ***Efecto del espesor de la losa de concreto***

El aporte del espesor de la losa de concreto fue más representativo en la condición máxima de desplazamientos (**Figura 6-20 b**)) y en el aporte de la acción compuesta (**Figura 6-24 b**)), que en la condición de cargas de falla (**Figura 6-17 b**)), donde los elementos con mayor espesor restringían las deformaciones del sistema compuesto. De acuerdo con lo anterior, el espesor de la losa se considera un parámetro estadísticamente significativo de forma parcial para condiciones de capacidad, con una confianza del 95%.

▪ ***Efecto del espaciamiento entre conectores***

El espaciamiento entre conectores es el parámetro que gobierna el grado de interacción de sección compuesta en el sistema y parcialmente el mecanismo de falla, debido a la cantidad de elementos incluidos en cada configuración. Mayores espaciamientos conducen a reducción en la resistencia del sistema (**Figura 6-17 d**)), desacople del sistema ante menores cargas y/o deflexiones (**Figura 6-20 d**)) por tanto disminuye el grado de acción compuesta (**Figura 6-24 d**)), principalmente en especímenes de menor longitud porque su comportamiento está regido por los esfuerzos de cortante, haciéndose relevante la densidad de conectores en el elemento.

▪ **Efecto del espesor del perfil de acero**

Dada la configuración geométrica de los elementos de acero, esencialmente por la susceptibilidad mecánica al pandeo local ante los bajos espesores que se maneja en los perfiles formados en frío (CFS), se considera al espesor de las vigas como un parámetro estadísticamente significativo en la capacidad máxima del sistema (**Figura 6-17 c**)), no obstante, tiene menor grado de influencia tanto en la deflexión (**Figura 6-20 c**)) como en la acción compuesta (**Figura 6-24 c**)). De este modo, mayores espesores condujeron a mayores estados de cargas máximas. Sin embargo, las condiciones que inducen al pandeo local se vieron potenciadas para elementos de menor espesor.

▪ **Efecto de la longitud de las probetas**

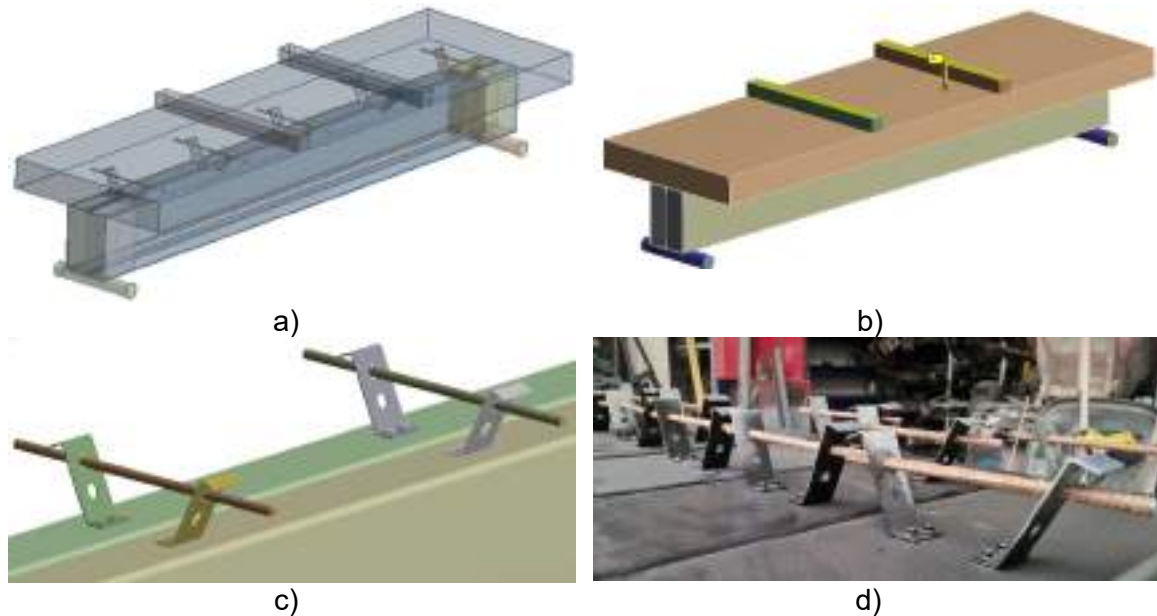
Indudablemente, la longitud de las probetas fue la variable de mayor incidencia en el comportamiento del sistema, tanto para la respuesta de cargas de falla (**Figura 6-17 e**)) como para la condición de desplazamientos (**Figura 6-20 e**)) y el grado de acción compuesta (**Figura 6-24 e**)), diferenciando claramente sus mecanismos de falla. Las vigas cortas tuvieron mayores valores de carga y presentaron menores deflexiones, contrario a lo evidenciado en las pruebas de las vigas largas. Cabe destacar que en todos los casos las deflexiones evaluadas superaron ampliamente los límites para condiciones de servicio.

6.4.5 Comparación respuesta analítica Vs. respuesta experimental

A partir de los resultados experimentales, se calibraron los parámetros no lineales de modelamiento numérico, por medio de la simulación de la probeta *F2-3-21-100@400*, en el software ANSYS Workbench, el cual emplea el método de los elementos finitos, donde se pretendió establecer cualitativamente la evolución del proceso de carga en todos los componentes del sistema, los cuales se modelaron con elementos tetraédricos tridimensionales Solid 187 para optimizar la precisión de los resultados (Ver 3.3.1).

La **Figura 6-25** muestra la configuración de análisis, en la cual se ajustaron las propiedades nominales de materiales y geometría, acorde con el desarrollo experimental (**Figura 6-7**).

Figura 6-25: Configuración modelo analítico *F2-3-21-100@400*. a). Geometría. b). Condiciones de frontera. c) Detalle geometría conectores de cortante tipo CSC. d). Condición experimental de conectores de cortante tipo CSC.



Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

Al igual que las modelaciones descritas en los capítulos 3 y 4, concreto fue caracterizado a partir de la curva esfuerzo-deformación uniaxial multilineal, con endurecimiento isotrópico, en el que se aplicó el criterio de falla de Von Misses (**Figura 3-11. a)**).

Los elementos de acero fueron caracterizados con modelos constitutivos elastoplásticos, empleando las curvas bilineales donde se consideró la pendiente de endurecimiento en la zona de plasticidad, para facilitar la convergencia en el rango no lineal del modelo analizado (**Figura 3-11 b)**).

Los valores nominales para la conformación de las curvas fueron ajustados como parte del proceso de calibración con respecto a las pruebas experimentales.

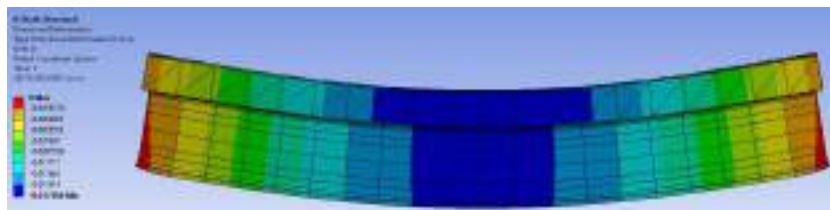
Como condiciones de borde del modelo numérico, se consideró la restricción de todos los grados de libertad en los elementos que simulan los apoyos. La carga fue aplicada por control de desplazamiento de los elementos dispuestos sobre la losa de concreto, que simulan la condición experimental de aplicación de carga (**Figura 6-25 b)**).

Salvo en la interacción de tornillos de fijación y el perfil de acero, no se consideró el aporte de la fricción en el contacto de los componentes, de acuerdo con lo corroborado por Hurtado & Molina (2020), permitiendo que la trabe mecánica de los elementos desarrolle el mecanismo de transferencia de esfuerzos entre componentes.

Comparativamente, se presentan los resultados de los modelos analíticos, contrastándolos con la respuesta experimental.

En la **Figura 6-26**, se muestra la condición de deflexión máxima del sistema, tanto a nivel de modelación (**Figura 6-26 a**) como de respuesta experimental (**Figura 6-26 b**), donde es posible apreciar que para el estado final de carga se ha generado desplazamiento relativo en la interfaz de los componentes (**Figura 6-26 c**). La existencia de estos desplazamientos relativos implica pérdida parcial de acción compuesta, y por tal motivo se evidencia una discontinuidad en el perfil de desplazamientos (color azul) entre el elemento de acero y la losa de concreto (**Figura 6-26 a**).

Figura 6-26: Condición de deflexión máxima en probetas de longitud 2m solicitadas a flexión a). Modelo analítico. b). Condición experimental. c) Detalle de desplazamiento relativo de materiales en probetas experimentales.



a)



b)

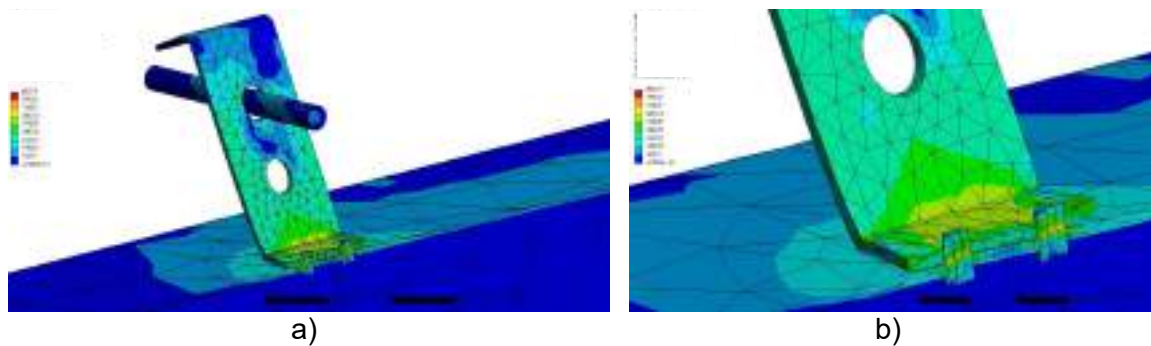


c)

Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

En estados previos, durante el proceso de incremento de carga, se logra constatar la efectividad del mecanismo de transferencia, bajo los parámetros de modelación, presentándose concentraciones de esfuerzos tanto en la losa de concreto como en la viga metálica, en la periferia de los conectores, como se observa en la **Figura 6-27**, con las mayores exigencias mecánicas por corte en los tornillos autoperforantes (**Figura 6-27 b**)), propagándose hasta la zona del doblé inferior en el conector CSC, lo que concuerda con lo evaluado por Hurtado & Molina (2020), con respecto al comportamiento del sistema de fijación.

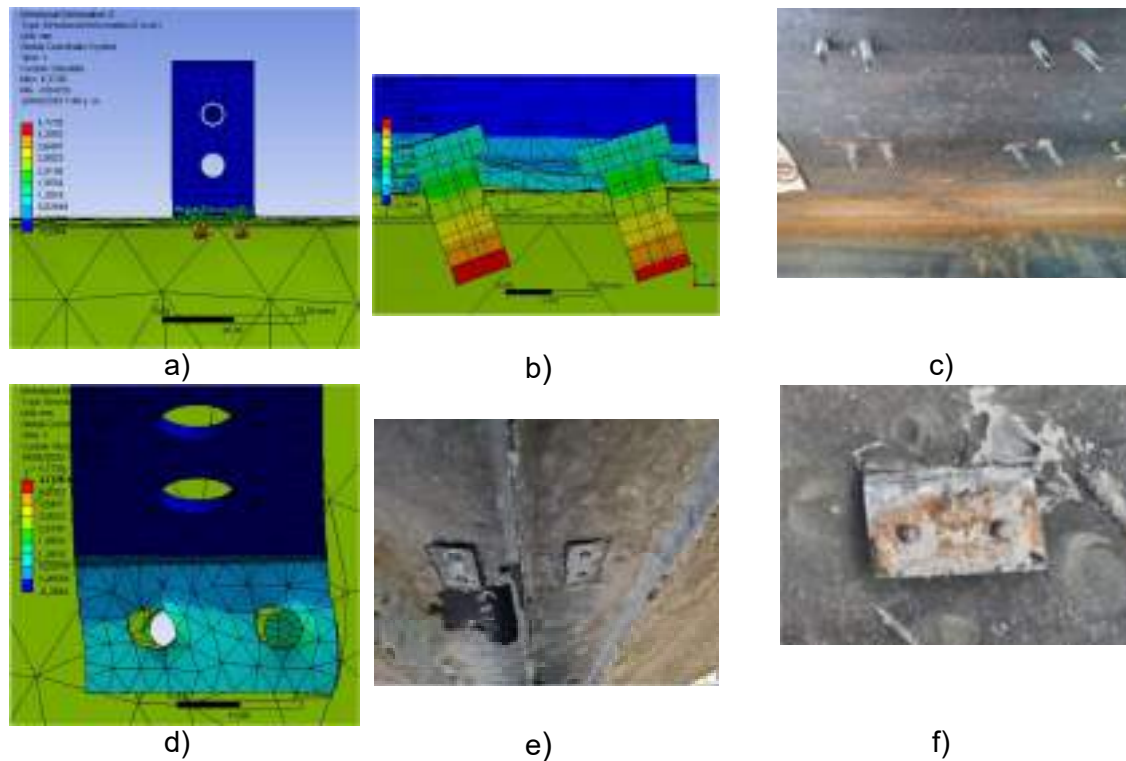
Figura 6-27: Estado de esfuerzos en el modelo analítico. a). Elementos de acero. b) Detalle de sistema de fijación con tornillos autoperforantes.



Tomado de Hurtado & Molina, 2024.

El proceso de pérdida de sección compuesta da inicio con el incremento de solicitaciones de corte sobre los tornillos autoperforantes, como se presenta en la **Figura 6-28**, induciendo a su rotación con respecto al posicionamiento vertical de instalación (**Figura 6-28 a**)), junto con un leve desgarramiento en los conectores de cortante (**Figura 6-28 d**)), sin que llegue a ser esta la condición de falla, ya que el corte en los tornillos gobernó en todos los casos de falla experimental.

Figura 6-28: Fase inicial del proceso de pérdida de sección compuesta. a). Rotación de tornillos autoperforantes en modelo analítico. b) Detalle de rotación de tornillos autoperforantes en modelo analítico. c) Rotación de tornillos en espécimen experimental. d) Desgarramiento de material base de conectores de cortante tipo CSC. Modelo analítico. e) Desgarramiento diferencial en conectores de cortante tipo CSC en espécimen experimental. f) Detalle de estado final de conectores de cortante tipo CSC en espécimen experimental.

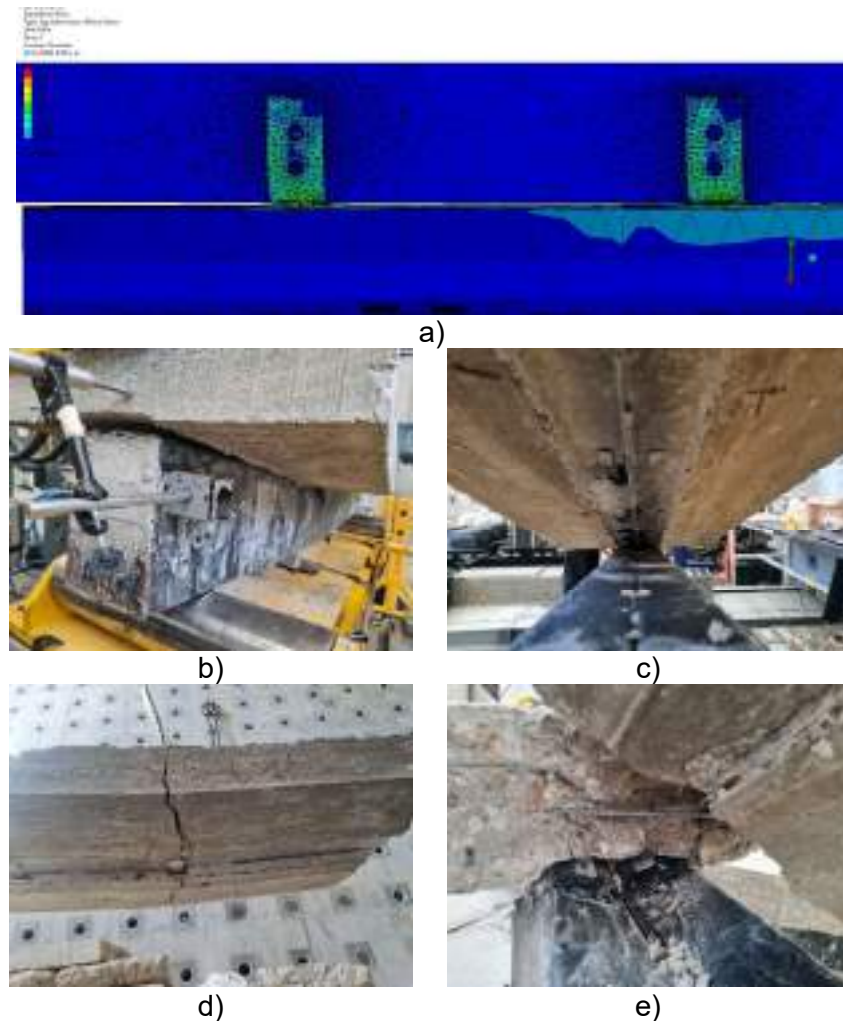


Tomado de Hurtado & Molina, 2024

Dado que los desgarramientos no fueron iguales en todos los conectores, se establece el aporte diferencial de cada conector, difiriendo del planteamiento teórico en el que se considera que todos los dispositivos se distribuye la carga con la misma proporción.

Una vez ocurre el giro de los tronillos y/o desgarramiento de los conectores, se presentan los desplazamientos relativos longitudinales entre los componentes, principalmente en los extremos de los especímenes, acompañados de separaciones verticales generadas por las deflexiones de cada componente como elemento independiente (**Figura 6-29 b**)).

Figura 6-29: Fase final de pérdida de sección compuesta. a) Desplazamientos relativos y separación de materiales en modelo analítico. b) Separación vertical de materiales en probeta experimental. c) Falla por corte en tornillos autoperforantes y desacople de sección compuesta en espécimen experimental. d) Falla por fractura en losa de concreto. e) Falla por pandeo local en viga metálica.

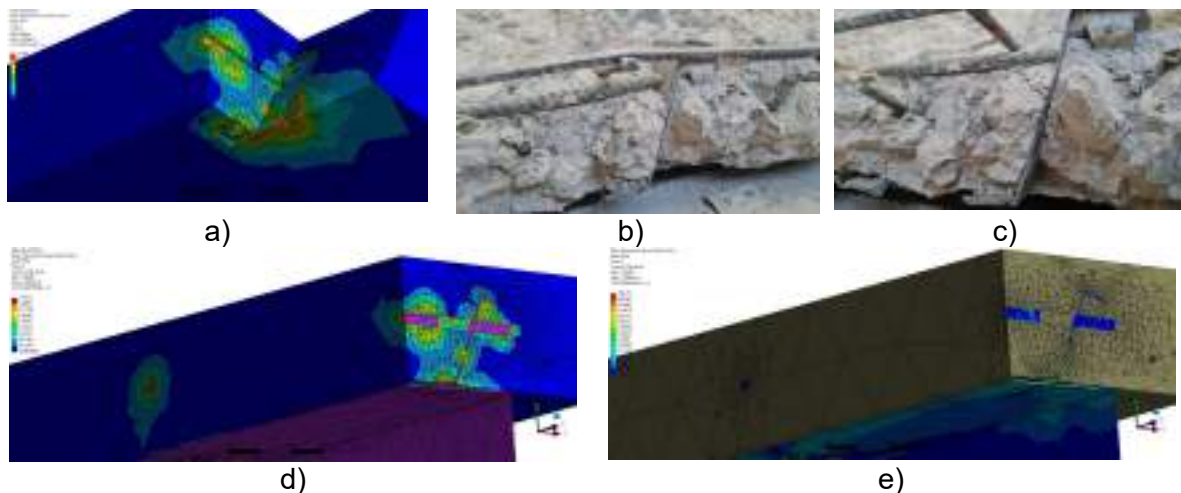


Tomado de Hurtado & Molina, 2024

Los modelos numéricos no logran convergencia para estados posteriores a la carga máxima. Experimentalmente se presenta el desacople completo de la sección compuesta, como se muestra en la **Figura 6-29 c)**, así como condiciones de falla de cada componente de forma independiente: fractura en las losas de concreto (**Figura 6-29 d)**) y pandeo local en los perfiles de acero (**Figura 6-29 e)**).

A nivel local, en la periferia del conector, se observa la zona de influencia del sistema de transferencia en la matriz de concreto (**Figura 6-30 a)**), manteniéndose la integridad del sistema embebido, con micro fisuras visibles en las probetas experimentales (**Figura 6-30 c)**). De acuerdo con la concentración de esfuerzos, se corrobora el funcionamiento propuesto del mecanismo, en el cual las barras transversales son elementos activos, aportando en la transferencia de esfuerzos al concreto, y contribuyendo a reducir la fisuración longitudinal. De igual forma, la dovela generada por la perforación inferior de los conectores también presenta concentraciones de esfuerzos, lo que muestra la importancia de su función.

Figura 6-30: Estado final de esfuerzos en modelo analítico. a). Losa de concreto. b). Estado final de conectores de cortante en probeta experimental. c). Estado final de conectores de cortante en probeta experimental. d) Respuesta de esfuerzos en la losa de concreto en modelo analítico. e) Respuesta de esfuerzos de elementos metálicos en modelo analítico.



Tomado de Hurtado & Molina, 2024

6.5 Formulación de diseño de aporte de acción compuesta empleando conectores tipo CSC

Como se mencionó en el análisis paramétrico (6.4.4), con base en la respuesta estadística (6.4.3), los parámetros que gobiernan el grado de acción compuesta son el espesor de la losa de concreto y la separación entre conectores, siendo claramente diferenciable el comportamiento del sistema para elementos de diferentes longitudes.

De este modo, por medio de un análisis de regresión no lineal, se establece la formulación de estimación de capacidad de acción compuesta (ecuación (6-3)), excluyendo los parámetros que no evidencian aporte representativo en la respuesta del sistema, obteniendo la expresión:

$$\% \text{ Acción compuesta} = \beta \cdot [(0.535 - 55 \times 10^{-6} \cdot L) \cdot h_{con}^{0.08} \cdot t_{st}^{0.30} \cdot S^{0.01}] \cdot 100\% \quad (6-3)$$

Donde: L : Longitud del elemento estructural [mm].

t_{st} : Espesor del perfil de acero CFS [mm]

h_{con} : Espesor losa de concreto [mm]

β : Parámetro de validación experimental, asociado a reducción por dispersión de datos. 0.85 para la **Figura 6-31**..

Teniendo en cuenta la importancia de la longitud del elemento en el desempeño del sistema, se incluye el término $(0.535 - 55 \times 10^{-6} \cdot L)$ en la expresión de diseño, y así considerar su variabilidad.

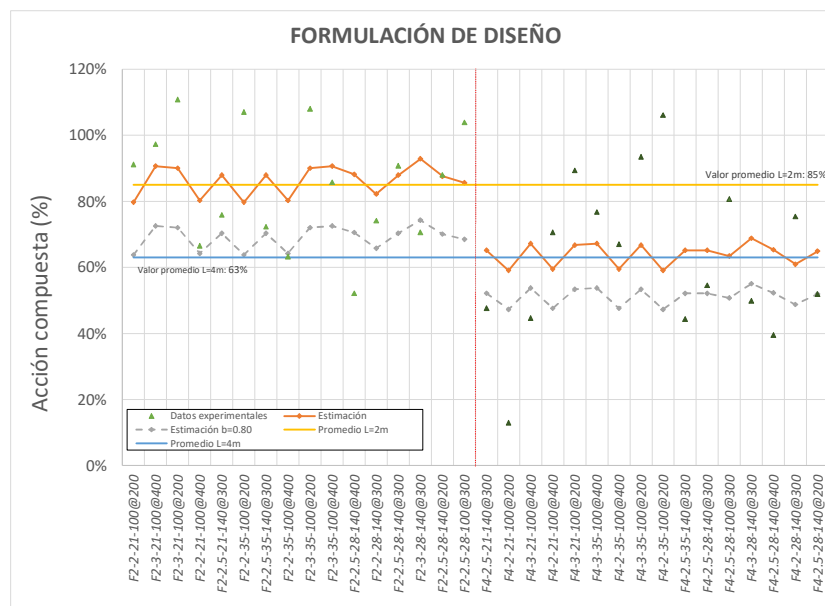
Como se evidenció por el análisis de regresión, ninguna de las configuraciones experimentales desarrolló acción totalmente compuesta, pero las cargas de falla y los desplazamientos finales obtenidos superaron ampliamente las condiciones de servicio.

De este modo, se sugiere el diseño de elementos compuestos en sistemas de entrepiso con perfiles CFS, losas de concreto y conectores de cortante tipo CSC, en el que se considere la opción de trabajo con acción parcial, donde se garantice que el sistema está en capacidad de resistir las solicitaciones del análisis estructural, de forma segura. Esto conllevaría a la optimización técnica en la implementación de los conectores tipo CSC y en la logística de preparación de las piezas, así como menores costos de fabricación.

La última columna de la **Tabla 6-5** incluye la estimación de capacidad de acción compuesta con base en la formulación propuesta. Dado que la expresión proviene de un análisis de regresión, donde se estima la condición que mejor se aproxima a una tendencia central, se encuentran valores por encima y debajo del valor propuesto, con respecto a la evidencia experimental, por lo cual se recomienda incluir el valor conservativo β de 0.85, garantizando que un mayor porcentaje de datos de la nube de dispersión de puntos cuentan con valores experimentales de resistencia, superiores al de la estimación.

En la **Figura 6-31** se incluye la nube experimental de puntos y en naranja, se grafican los valores de estimación de acción compuesta, obtenidas de la expresión (6-3), para las diferentes configuraciones ensayadas experimentalmente. En amarillo se incluyen las líneas promedio de 2000mm y 4000mm de longitud, y en gris el valor de la estimación afectado por el coeficiente de reducción β propuesto.

Figura 6-31: Gráfica de porcentajes de acción compuesta experimentales y obtenidas por la expresión de diseño para diferentes configuraciones empleando conectores de cortante tipo CSC



Modificado de Hurtado & Molina, 2024.

La expresión de diseño propuesta junto con la formulación de capacidad nominal de conectores de cortante tipo CSC (expresión (6-3)) se complementan para establecer la metodología de diseño de secciones compuestas con perfiles CFS.

6.6 Conclusiones del estudio

Las pruebas experimentales de flexión en vigas de sección compuesta, a escala real, permiten apreciar comportamientos operativos del sistema que no se pueden detallar en ensayos de corte directo, tales como la incidencia de la longitud de los especímenes experimentales, la evolución de los mecanismos de falla bajo las condiciones de servicio, y condiciones de comportamiento local influenciados por la tipología de carga aplicada, como desplazamientos relativos entre los componentes, y separaciones transversales, previo al desacople del sistema.

Dentro de los parámetros involucrados en el estudio, se estableció que el cambio en la resistencia del concreto no representa un aporte estadísticamente significativo, ni en la resistencia ni en la rigidez del sistema compuesto estudiado, mientras que el espesor de la losa potencia el trabajo de la acción compuesta, permitiendo mejor control de deflexiones; así como también ocurre con el incremento del espesor de la viga de acero.

Aparte de la longitud, que fue un parámetro claramente diferenciador del comportamiento del sistema, tanto para condiciones de rigidez como de resistencia, el espaciamiento entre conectores influyó predominantemente en la respuesta de acción compuesta. Aunque en interacción con otros parámetros, los mayores espaciamientos reducían la capacidad conjunta del sistema, induciendo al desacople prematuro, y por ende al trabajo de los componentes de forma independiente.

Así mismo, a través de estos ensayos experimentales, y también por los resultados de modelos de simulación numérica, es posible cuestionar planteamientos teóricos de análisis de comportamiento de sistemas compuestos con perfiles de lámina delgada, tal como la suposición que todos los conectores de cortante van a estar sometidos a la misma condición de carga, ya que experimentalmente se aprecia que el estado de deformación para cada uno de ellos es diferente, incrementándose en las zonas de mayor gradiente de flexión.

La modelación por elementos finitos, de acuerdo con una adecuada calibración experimental, permite establecer la evolución de los procesos de carga, así como su respuesta en cada material involucrado en el sistema compuesto. De este modo, se logra

validar que cada uno de los componentes de los conectores tipo CSC cumplen con su propósito dispuesto en su configuración geométrica y mecánica.

A través de la experimentación y de la modelación se corroboró que la geometría propuesta de los conectores de cortante permite su anclaje efectivo a la matriz de concreto, induciendo fisuración en su periferia por la transferencia de esfuerzos, junto con el aporte de la dovela que se genera en la perforación inferior del conector. La barra transversal aporta en la mitigación de esfuerzos por corte longitudinal, redistribuyéndolos en el concreto de forma transversal, reduciendo así la fisuración superficial en la losa.

De esta manera, se puede concluir que el sistema compuesto por losas de concreto, vigas con perfiles CFS y conectores de cortante tipo CSC cuentan con un comportamiento eficiente para ser empleados en sistemas de entrepiso, garantizando condiciones de resistencia y rigidez suficientes para su implementación en edificaciones. Cabe destacar que en las pruebas experimentales los especímenes se llevaron a condiciones muy superiores a las de servicio, recomendadas por la normativa, manteniendo la integridad del sistema de conexión, así como condiciones de falla dúctiles.

Finalmente, por medio de soporte estadístico, se plantea una formulación para estimar el grado de acción compuesta de los sistemas conformados por losas de concreto, vigas con perfiles CFS y conectores de cortante tipo CSC, con recomendaciones para ser tenidas en cuenta en ámbitos normativos.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

7.1.1 Conclusiones de los conectores de cortante CSC

En este estudio, se formuló una nueva propuesta de conector de cortante denominado *CSC (Confined Shear Connector)*, fabricados con láminas de acero ASTM A424, de espesor 1.90mm e inclinación de 65° con respecto al plano horizontal, cuya patente fue otorgada durante el desarrollo de la investigación. A través de la experimentación y la simulación numérica, se evidenció que este tipo de conector presenta un comportamiento eficiente como elemento de transferencia de esfuerzos, en sistemas compuestos por losas de concreto y vigas con perfiles de lámina delgada (*CFS*).

La configuración del conector *CSC* se obtuvo a partir de un proceso de optimización geométrica y mecánica, por medio de software de simulación numérica por el método de los elementos finitos y análisis estadístico, donde se incluyeron las propiedades no lineales de los materiales y características de viabilidad para su fabricación e instalación. Así mismo, su definición involucró aspectos operacionales de obra para facilitar los procesos constructivos, y de componente comercial para ser competitivo con otras alternativas que ofrece el mercado.

La configuración de los conectores de cortante tipo *CSC* involucran elementos adicionales que potencian el trabajo conjunto del sistema de transferencia de esfuerzos. Por un lado, se cuenta con la barra de refuerzo localizada en la perforación superior, y tiene el objetivo de distribuir las tensiones provenientes del conector en una mayor área de concreto y que de paso reduce la posibilidad de formación de fisuras en la losa en la zona aferente al perfil. Por otro lado, el vacío intencional de la perforación inferior del conector permite la generación de una dovela en concreto, que potencia el mecanismo de transferencia de

esfuerzos. Así mismo, el gancho generado por el pliegue superior reduce la posibilidad de separaciones verticales de los componentes del sistema.

A través de pruebas experimentales de instalación y corte, se validó la capacidad mecánica de los tornillos autoperforantes como el mecanismo de fijación de los conectores de cortante tipo CSC. Esta alternativa presenta ventajas competitivas con respecto a la soldadura, ya que elimina el riesgo de quemaduras o perforaciones dado el reducido espesor de las láminas, lo cual reduce la capacidad de los elementos de acero, y por ende, del sistema. Además, el sistema de fijación con tornillos autoperforantes no requiere de mano de obra calificada, ni herramienta especializada para su instalación, convirtiéndolo en un sistema práctico, económico y de fácil integración en la industria.

7.1.2 Conclusiones de ensayos de corte directo alternativos Pry-Out

La metodología de ensayo Pry-Out, para la evaluación de la capacidad de sistemas compuestos, resultó ser una alternativa experimental viable, particularmente para perfiles de acero de lámina delgada (*CFS*), ya que se mitiga el efecto del potencial pandeo local generado en los ensayos tradicionales Push-Out al aplicar la carga a compresión en el perfil. El ensayo Pry-Out incluso puede ser extrapolable a configuraciones de secciones compuestas que emplean perfiles laminados en caliente (*HRS*), de mayores espesores de lámina.

La validación experimental de los sistemas compuestos ante solicitud de corte directo por la metodología Pry-Out, permitió evaluar las condiciones de trabajo del sistema y su mecanismo de falla, iniciándose como rotación en los tornillos autoperforantes, y luego presentando un limitado desgarramiento en la platina de los conectores, paralelamente con fisuración en las placas de concreto, en especímenes con menores resistencias. Finalmente se produjo el corte en los tornillos para todas las configuraciones ensayadas, sin afectación en el perfil de acero, desacoplando el sistema compuesto, pero sin pérdida de integridad en los elementos de transferencia.

Aunque los parámetros experimentales validados bajo los lineamientos de esta investigación no evidenciaron diferencia estadística para las cargas de falla, si lo hicieron para la respuesta de ductilidad del sistema, permitiendo mayores desplazamientos relativos entre la losa de concreto y el perfil de acero, en concretos de menor resistencia, perfiles de menor espesor y mayores espaciamientos, logrando valores superiores a 6mm, límite dado por el Eurocódigo4 para que sea considerado como conector de cortante dúctil.

7.1.3 Conclusiones de ensayos de flexión en vigas a escala real

Las pruebas experimentales de flexión en vigas en sección compuesta, a escala real, permiten ver y comprender en contexto la evolución del comportamiento del sistema de entrepiso, bajo condiciones de servicio y de resistencia última. Esta tipología de ensayos, complementario a los ensayos de capacidad por corte directo, permiten percibir otro tipo de efectos en el sistema, tales como la incidencia de la longitud de los especímenes experimentales, mecanismos de falla, condiciones de comportamiento local, desplazamientos relativos entre los componentes y separaciones verticales.

Dentro de los parámetros involucrados en el estudio, se estableció que el cambio en la resistencia del concreto no representa un aporte estadísticamente significativo, en lo que respecta a la capacidad y a la rigidez para probetas solicitadas a flexión. Por el contrario, el espesor de la losa potencia el trabajo de la acción compuesta, permitiendo mejorar la capacidad del sistema y control de deflexiones; así como también ocurre con el incremento del espesor de la viga de acero.

Aparte de la longitud, que es un parámetro relevante en el comportamiento del sistema compuesto, tanto para su rigidez como su resistencia y los mecanismos de falla. El espaciamiento entre conectores influenció predominantemente en la respuesta de acción compuesta. Los mayores espaciamientos reducían la capacidad del sistema, induciendo al desacople prematuro y trabajo de los componentes de forma independiente.

7.1.4 Conclusiones de modelamiento numérico y análisis estadístico

La modelación por elementos finitos, de acuerdo con una adecuada calibración experimental, permite establecer la evolución de los procesos de carga, así como su respuesta en cada uno de los elementos involucrados en el sistema compuesto. De este modo, se logra validar que cada uno de los componentes de los conectores tipo CSC cumple con su propósito en su configuración geométrica y comportamiento mecánico.

Análogo a la experimentación, la simulación computacional, empleando el método de los elementos finitos (*MEF*), se ha convertido en una herramienta, que junto con los principios de la mecánica del medio continuo, logra la representación de sistemas estructurales con una muy buena aproximación a los resultados experimentales, siempre y cuando exista una adecuada calibración de los modelos, donde se involucre tipo de análisis, geometría, condiciones de frontera, contactos y los modelos constitutivos a implementar de acuerdo con la caracterización mecánica de los materiales. Adicionalmente, con los modelos numéricos se puede acceder a los resultados del análisis para las diferentes etapas de la aplicación de las cargas, así como permite detallar los sectores en los que se desarrollan los mecanismos de falla.

7.1.5 Conclusiones acerca de diseño

Se propone la expresión de diseño de conectores de cortante tipo CSC, para ser empleada en el diseño de sistemas compuestos por perfiles de lámina delgada (*CFS*) y losas de concreto, donde se proyecta la falla por corte en los tornillos en el sistema de fijación.

$$Q_n = 13000 \cdot \alpha \cdot f_c'^{0.20} \cdot t_{st}^{0.20} \leq 4 \cdot A_{sc} \cdot F_u$$

Así mismo, se plantea una formulación para estimar su capacidad de acción compuesta, con recomendaciones para ser tenidas en cuenta en ámbitos normativos.

$$\% \text{ Acción compuesta} = \beta \cdot \left[(0.535 - 55 \times 10^{-6} \cdot L) \cdot h_{con}^{0.08} \cdot t_{st}^{0.30} \cdot S^{0.01} \right] \cdot 100\%$$

La expresión de diseño propuesta junto con la formulación de capacidad nominal de conectores de cortante tipo CSC, se complementan para ser tenidas en cuenta en ámbitos normativos del diseño entrepisos en sección compuesta por losas de concreto y perfilera CFS.

De esta manera, se concluye que el sistema compuesto por losas de concreto, vigas con perfiles de lámina delgada (CFS) y conectores de cortante tipo CSC cuentan con un comportamiento eficiente para ser empleados en sistemas de entrepiso, garantizando condiciones de capacidad y rigidez suficientes para su implementación en edificaciones. Cabe destacar que en las pruebas experimentales los especímenes se llevaron a condiciones muy superiores a las de servicio, manteniendo la integridad del sistema de conexión, así como condiciones de falla dúctiles.

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Recomendaciones caracterización de sistemas compuestos

Aunque el planteamiento de los conectores de cortante tipo CSC es de autoría propia, el estudio de diferentes configuraciones de sistemas compuestos está completamente abierto a la validación. De este modo, con la intención de ampliar el escenario del comportamiento de las secciones compuestas con perfiles CFS, y considerando que el concreto tradicional tuvo un desarrollo importante en este estudio, se pueden plantear configuraciones variando otros parámetros tales como longitud de los perfiles, secciones de perfiles CFS diferentes a en forma y en dimensiones, la resistencia del acero estructural, los diámetros de los tornillos autoperforantes, resistencia de los tornillos autoperforantes, entre otras opciones, y validar las formulaciones aquí propuestas.

Ante la relevancia que presenta la longitud de las probetas en los mecanismos de falla, se recomienda hacer pruebas de flexión que permitan identificar los límites de aplicabilidad de las condiciones de diseño propuestas, así como el límite de comportamiento predominantes por flexión y corte, o la posibilidad de que se presenten estados de interacción.

Una de las líneas más directas del avance en el estado del arte, con respecto a los conectores tipo CSC, es su inclusión de sistemas compuestos con lámina colaborante, con el fin de evaluar la aplicabilidad de la propuesta aquí presentada en otras configuraciones de sistemas de entrepiso.

Así mismo, con un adecuado plan de ensayos experimentales y/o analíticos, podría llegar a ser interesante el planteamiento de diferentes alternativas de conectores de cortante, y por ende sus expresiones y metodologías de diseño, para direccionarlas al campo normativo, y a la industria, dando un empujón al sector económico con mayor diversidad de posibilidades en el mercado.

Aunque no es de estudio común, de acuerdo con registros de la literatura, el uso de concretos con fibras puede incrementar la capacidad de las secciones compuestas, mitigando la aparición de fisuras prematuras, y de este modo dilatar la degradación de rigidez del conjunto. En ese sentido podrían plantearse configuraciones de secciones compuestas con este material, para explorar posibles alteraciones en los mecanismos de falla, e incluso, validarse la aplicabilidad de las formulaciones aquí propuestas bajo esa configuración de concreto.

7.2.2 Recomendaciones de análisis estructural

Se recomienda profundizar en el análisis del estado límite de vibraciones del sistema compuesto con perfiles de lámina delgada *CFS*, dado que la baja rigidez del sistema podría afectar las condiciones de confort del usuario final, independiente del tipo de conector de cortante.

7.2.3 Recomendaciones estrategias de investigación

Ante la gran gama de configuraciones estructurales que se pueden generar al estudiar parámetros geométricos y mecánicos de los conectores de cortante, se recomienda el apoyo estadístico en el desarrollo de la matriz experimental, de manera que se logre optimizar el componente económico en la inversión de materiales, consiguiendo resultados estadísticamente confiables.

Contando con una adecuada calibración mecánica, la modelación numérica, acompañado de software de simulación por el método de los elementos finitos, se convierte en una alternativa viable desde el punto de vista económico y logístico, para establecer tendencias de comportamiento mecánico de los sistemas compuestos, reduciendo la cantidad de ensayos experimentales que podría requerir la caracterización de un sistema estructural. Cabe destacar que el costo se traslada a la capacidad computacional que puedan tener los equipos para el desarrollo de las simulaciones mecánicas realizadas. En el mismo sentido, este tipo de aplicaciones permite conocer la evolución interna idealizada de los elementos componentes de los sistemas, con base en diferentes modelos constitutivos y criterios de falla de los materiales.

7.2.4 Recomendaciones de implementación

Se sugiere el diseño de elementos compuestos en sistemas de entrepiso con perfiles CFS, losas de concreto y conectores de cortante tipo CSC, trabajando con acción parcial, donde se garantice que las solicitaciones del análisis estructural están cubiertas, de forma segura. Esto conllevaría a la optimización técnica en la implementación de los conectores tipo CSC y en la logística de preparación de las piezas, así como menores costos de fabricación.

A. Anexo: Soporte documentación patente

B. Anexo: Resultados simulación pruebas de corte directo tipo Pry-Out

**C. Anexo: Resultados
experimentales pruebas de corte
directo tipo Pry-Out**

D. Anexo: Resultados experimentales pruebas a flexión

E. Anexo: Diseño de secciones compuestas

Bibliografía

- [1]. Ahn, J., Kim, S., Choi, K. & Jung, C. (2010). EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE SHEAR RESISTANCE OF CORRUGATED PERFOBOND RIB SHEAR CONNECTIONS. *Advances in Structural Engineering*, Vol.14 (2), 249-263.
- [2]. Ahn, J.H., Lee, C.G., Won, J.H. & Kim, S.H. (2010). SHEAR RESISTANCE OF THE PERFOBOND-RIB SHEAR CONNECTOR DEPENDING ON CONCRETE STRENGTH AND RIB ARRANGEMENT. *Journal Constructional of Steel Research*, 66, 295-307.
- [3]. Al-Darzi, S.Y.K., Chen, A.R. & Liu, Y.Q. (2007). FINITE ELEMENT SIMULATION AND PARAMETRIC STUDIES OF PERFOBOND RIB CONNECTOR. *American Journal of Applied Science*, 4 (3), 122-127.
- [4]. AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC 360-16). SPECIFICATION FOR STRUCTURAL STEEL BUILDINGS. USA.
- [5]. AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI S100-16). NORTH AMERICAN SPECIFICATION FOR THE DESIGN OF COLD-FORMED STEEL STRUCTURAL MEMBERS. USA.
- [6]. Alenezi, K., Tahir, M., Alhajri, T., Badr, M., & Mirza, J. (2015). BEHAVIOR OF SHEAR CONNECTORS IN COMPOSITE COLUMN OF COLD-FORMED STEEL WITH LIPPED C-CHANNEL ASSEMBLED WITH FERRO-CEMENT JACKET. *Construction and Building Materials*, 84, 39-45.
- [7]. Alenezi, K., Tahir, M., Alhajri, T., Badr, M., Mirza, J., Lawan, M., & Hosseinpour, E. (2015). PUSH-OUT TESTS OF INNOVATIVE SHEAR CONNECTORS BETWEEN COLD-FORMED STEEL SECTION INTEGRATED WITH FERROCEMENT JACKET. *Jurnal Teknologi*, 74(4, SI), 67–72.
- [8]. Alhajri, T., Tahir, M., Azimi, M., Mirza, J., Lawan, M., Alenezi, K., & Ragaei, M. (2016). BEHAVIOR OF PRE-CAST U-SHAPED COMPOSITE BEAM

- INTEGRATING COLD-FORMED STEEL WITH FERRO-CEMENT SLAB. *Thin-Walled Structures*, 102, 18–29.
- [9]. Anderson, N. & Meinheit, D. (2000). DESIGN CRITERIA FOR HEADED STUDS GROUPS IN SHEAR. *PCI Journal* 46-75.
- [10]. Anderson, N. & Meinheit, D. (2005). PRY-OUT CAPACITY OF CAST-IN HEADED STUDS ANCHORS. *PCI Journal* 90-112.
- [11]. Arroyo, R. & Jullien, J. (1997). A NEW SHEAR STUD CONNECTOR PROPOSAL. In ASCE conference. 298-311.
- [12]. ASOCIACIÓN DE INGENIERIA SÍSMICA (NSR10). NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO Y CNSTRUCCIÓN ISMO RESISTENTE. Bogotá.
- [13]. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (NBR 8800/2008). NORMA BRASILEIRA – PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO E CONCRETO DE EDIFICIOS. Brasil.
- [14]. Avelar, I., Beck, A. & Malite, M. (2010). RELIABILITY-BASED EVATUALTION OF DESIGN GUIDELINES FOR COLD-FORMED STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol XXXII No. 5, 442-449.
- [15]. Bamaga, S., Tahir, M., Tan, T., Mohammad, S., Yahya, N., Saleh, A., Rahman, A. (2013). FEASIBILITY OF DEVELOPING COMPOSITE ACTION BETWEEN CONCRETE AND COLD-FORMED STEEL BEAM. *Journal Of Central South University*, 20(12), 3689–3696.
- [16]. Bamaga, S., Tahir, M., & Tan, C. S. (2012). PUSH TESTS ON INNOVATIVE SHEAR CONNECTOR FOR COMPOSITE BEAM WITH COLD-FORMED STEEL SECTION. In 21st International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures - Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction, 325–337.
- [17]. Bamaga, S., & Tahir, M. (2013). TOWARDS LIGHT-WEIGHT COMPOSITE CONSTRUCTION: INNOVATIVE SHEAR CONNECTOR FOR COMPOSITE BEAMS. *Applied Mechanics and Materials*, 351–352, 427–433.
- [18]. BRITISH STANDARDS (BS 5950-3-1/2010). BRITISH STANDARD – STRUCTURAL USE OF STEELWORK IN BUILDING. Inglaterra.

-
- [19]. CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. (CSA-S136/07). NORTH AMERICAN SPECIFICATION FOR THE DESIGN OF COLD-FORMED STEEL STRUCTURAL MEMBERS. Canadá.
- [20]. Candido-Martins, J., Costa-Neves, L. & da S.Velasco, P. (2010). EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE STRUCTURAL RESPONSE OF PERFOBOND SHEAR CONNECTORS. *Engineering Structures*, 32, 1976-1985.
- [21]. Chinn, J. (1965). PUSH-OUT TESTS ON LIGHTWEIGHT COMPOSITE SLABS. *Engineering Journal AISC*, 129-134.
- [22]. Costa-Neves, L.F., Figueiredo, J.P., da S. Velasco, P.C.G. & da Cruz, J. (2013). PERFORATED SHEAR CONNECTORS ON COMPOSITE GIRDERS UNDER MONOTONIC LOADING: AN EXPERIMENTAL APPROACH. *Engineering Structures*, 56, 721-737.
- [23]. Crisinel, Michel. (1990). PARTIAL-INTERACTION ANALYSIS OF COMPOSITE BEAMS WITH PROFILED SHEETING AND NON-WELDED SHEAR CONNECTORS. *Journal of Constructional Steel Research*, 15, 65-98.
- [24]. Derlatka, A., Lacki, P., Nawrot, J. & Winowiecka J. (2019). NUMERICAL AND EXPERIMENTAL TEST OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAM WITH THE CONNECTOR MADE OF TOP-HAT PROFILE. *Composite Structures*, 211, 244-253.
- [25]. Dubey, A., Nayak, A., & Bhattacharyya, S. (1999). STRENGTH OF THIN-WALLED STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS: EXPERIMENTAL STUDY. *Journal of the Institution of Engineers (India): Civil Engineering Division*, 80(1), 37-41.
- [26]. Easterling, W. (2005). NEW SHEAR STUD PROVISIONS FOR COMPOSITE BEAM DESIGN. In *Proceedings of the Structures Congress and Exposition*, 1211-1212.
- [27]. Eom, T.S., Chung, L., Lim, J.J. & Hwang, H.J. (2016). REVIEW OF DESIGN FLEXURAL STRENGTHS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS FOR BUILDINGS STRUCTURES. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol. 10(3), 109-121.
- [28]. Erazo, L. & Molina, M. (2017). COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO EN SECCIONES COMPUESTAS CON LÁMINA COLABORANTE. Tesis de maestría Universidad Nacional de Colombia.

- [29]. Erdélyi, S., & Dunai, L. (2004). BEHAVIOUR OF A NEW TYPE OF COMPOSITE CONNECTION. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 48(1–2), 89–100.
- [30]. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARIZATION. EUROCÓDIGO 2. (1992). DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES – CONCRETE BRIDGES – DESIGN AND DETAILING RULES.
- [31]. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARIZATION. EUROCÓDIGO 4. (1994). DESIGN OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE STRUCTURES.
- [32]. Fontana, M., & Bärtschi, R. (2002). COMPOSITE FLOORS WITH NOVEL SHEAR CONNECTORS [Verbunddecken mit neuartigen Verbundmitteln]. *Stahlbau*, 71(8), 605–611.
- [33]. GERDAU CORSA. (2010). CONSTRUCCIÓN COMPUESTA ACERO-CONCRETO. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero. Mexico D. F. (Mexico).
- [34]. Gizejowski M. & Marcinowski J. (2016). In 13th International Conference on Metal Structures, ICMS 2016, 1–577.
- [35]. Hanaor, A. (2000). TESTS OF COMPOSITE BEAMS WITH COLD-FORMED SECTIONS. *Journal of Constructional Steel Research*, 54(2), 245–264.
- [36]. Hancock, G. (2003). COLD-FORMED STEEL STRUCTURES. *Journal of Constructional Steel Research*, 59, 473-487.
- [37]. Hamidi, B. (2013). DESIGN OF COMPOSITE BEAMS USING LIGHT STEEL CONSTRUCTIONS. *Machines, technologies, materials*. Issue 12/2013, 50–52.
- [38]. Hancock, G. (2003). COLD-FORMED STEEL STRUCTURES. *Journal of Constructional Steel Research*, 59, 473-487.
- [39]. Hosaka, T., Mitsuki, K., Hiragi, H., Ushijima, Y., Tachibana, Y. & Wantabe, H. (2000). AN EXPERIMENTAL STUDY ON SHEAR CHARACTERISTICS OF PERFOBOND STRIP AND ITS RATIONAL STRENGTH. *Journal of Structural Engineering JSCE* 46A, 1593-1604.
- [40]. Hossain, A. (2005). DESIGNING THIN-WALLED COMPOSITE-FILLED BEAMS. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures & Buildings*, 158, 267-278.

-
- [41]. Hurtado, X.F. & Molina, M. (2020). ALTERNATIVE FASTENING MECHANISM FOR SHEAR CONNECTORS WITH COLD-FORMED STEEL SHAPES INVOLVED IN COMPOSITE SECTIONS. *Athens Journal of Technology and Engineering* 7(2), 133-156.
- [42]. Hurtado, X.F. & Molina, M. (2021). BEHAVIOR OF SCS-TYPE SHEAR CONNECTORS UNDER PRY-OUT SHEAR TEST: ANALYTICAL STUDY. *Materials Science Forum* Vol. 1046, 45-58.
- [43]. Hurtado, X. (2007). COMPORTAMIENTO DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO TORNILLO DE RESISTENCIA GRADO 2 (DOS) PARA UN SISTEMA DE SECCIÓN COMPUESTA CON CONCRETO DE 21 MPa ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE DIRECTO. Tesis de maestría Universidad Nacional de Colombia.
- [44]. Hurtado, X.F. & Molina, M. (2023). FLEXURAL BEHAVIOR OF CFS-CONCRETE COMPOSITE SYSTEMS INVOLVING CSC-TYPE SHEAR CONNECTORS. *Athens Journal of Technology and Engineering* 7(2), 133-156.
- [45]. Hurtado, X. & Molina, M. (2020). GEOMETRICAL AND MECHANICAL OPTIMIZATION OF SHEAR CONNECTORS FOR CFS-CONCRETE COMPOSITE SYSTEMS. In *The 2020 Structures Congress* 25-28.
- [46]. Hurtado, X.F. & Molina, M. (2023). EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CSC-TYPE SHEAR CONNECTORS CAPACITY UNDER DIRECT SHEAR: PRY-OUT TEST. *Athens Journal of Technology and Engineering* 7(2), 133-156.
- [47]. Hsu, T., Munoz, R., Punurai, S., Majdi, Y., & Punurai, W. (2012). BEHAVIOR OF COMPOSITE BEAMS WITH COLD-FORMED STEEL JOISTS AND CONCRETE SLAB. In *21st International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures - Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construcción*, 339–353.
- [48]. Ipe, T., Bai, S., & Vani, K. (2016). AN EXPERIMENTAL STUDY ON BEHAVIOUR OF THIN-WALLED COLD FORMED STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS UNDER SHEAR. *Indian Concrete Journal*, 90(6), 20–29.
- [49]. Ipe, T., Bai, H., Vani, K., & Iqbal, M. (2013). FLEXURAL BEHAVIOR OF COLD-FORMED STEEL CONCRETE COMPOSITE BEAMS. *Steel and Composite Structures*, 14(2), 105–120.
- [50]. Irwan, J., Hanizah, A., Azmi, I., & Koh, H.. (2011). LARGE-SCALE TEST OF SYMMETRIC COLD-FORMED STEEL (CFS)-CONCRETE COMPOSITE BEAMS

WITH BTTST ENHANCEMENT. *Journal Of Constructional Steel Research*, 67(4), 720–726.

- [51]. Irvwan, J., & Hanizah, A. (2009). TEST OF SHEAR TRANSFER ENHANCEMENT IN SYMMETRIC COLD-FORMED STEEL CONCRETE COMPOSITE BEAMS. *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 2087-2098.
- [52]. Jeong, Y.J., Kim, H.Y. & Kim, S.H. (2005). PARTIAL-INTERACTION ANALYSIS WITH PUSH-OUT TEST. *Journal of Constructional Steel Research* 61, 1318-1331.
- [53]. Johnson, R. P., & Buckby, R. J. (1994). COMPOSITE STRUCTURES OF STEEL AND CONCRETE. Blackwell Scientific Publications. Oxford (England).
- [54]. JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (JSCE-09). STANDARD SPECIFICATIONS FOR STEEL AND COMPOSITE STRUCTURES. Japon.
- [55]. Jung, c.H., Kim, S.H., Choi, K.T., Park, S.J. & Park, S.M. (2013). EXPERIMENTAL SHEAR RESISTANCE EVALUATION OF Y-TYPE PERFOBOND RIB SHEAR CONNECTOR. *Journal of Constructional Steel Research*, 82, 1-18.
- [56]. Khadavi, & Tahir, M. M. (2017). PREDICTION ON FLEXURAL STRENGTH OF ENCASED COMPOSITE BEAM WITH COLD-FORMED STEEL SECTION. In V. B. F. Borgan W.R. Saloma (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1903). American Institute of Physics Inc.
- [57]. Kim, S., Choi, K., Park, S.J., Park, S.M. & Jung, C.. (2013). EXPERIMENTAL SHEAR RESISTANCE EVALUATION OF Y-TYPE PERFOBOND RIB SHEAR CONNECTOR. *Journal of Constructional Steel Research*, 82, 1-18.
- [58]. Klansek, U., & Kravanja, S. (2006). COST ESTIMATION, OPTIMIZATION AND COMPETITIVENESS OF DIFFERENT COMPOSITE FLOOR SYSTEMS - PART 1: SELF-MANUFACTURING COST ESTIMATION OF COMPOSITE AND STEEL STRUCTURES. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(5), 434–448.
- [59]. Kraus, D. & Wurzer, O. (1997). NON-LINEAR FINITE ELEMENT ANALYSIS OF CONCRETE DOWELS. *Computers & Structures*. 64, 1271-1279.
- [60]. Kyvelou, P., Gardner, L. & Nethercot, D.A. (2018). FINITE ELEMENT MODELLING OF COMPOSITE COLD-FORMED STEEL FLOORING SYSTEMS. *Engineering Structures*, 158, 28-42.

-
- [61]. Lakkavalli, B. & Liu, Y. (2006). EXPERIMENTAL STUDY OF COMPOSITE COLD-FORMED STEEL C-SECTION FLOOR JOIST. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 995-1006.
- [62]. Lawan, M., Tahir, M., & Mirza, J. (2016). BOLTED SHEAR CONNECTORS PERFORMANCE IN SELF-COMPACTING CONCRETE INTEGRATED WITH COLD-FORMED STEEL SECTION. *Latin American Journal of Solids And Structures*, 13(4), 731–749.
- [63]. Lawan, M., Tahir, M., & Osman, M. (2015). COMPOSITE CONSTRUCTION OF COLD-FORMED STEEL (CFS) SECTION WITH HIGH STRENGTH BOLTED SHEAR CONNECTOR. *Jurnal Teknologi*, 77(16), 171–179.
- [64]. Lawan, M., Tahir, M., & Hosseinpour, E. (2016). FEASIBILITY OF USING BOLTED SHEAR CONNECTOR WITH COLD-FORMED STEEL IN COMPOSITE CONSTRUCTION. *Jurnal Teknologi*, 78(6–12), 7–13.
- [65]. Lawan, M., & Tahir, M. (2015). STRENGTH CAPACITY OF BOLTED SHEAR CONNECTORS WITH COLD-FORMED STEEL SECTION INTEGRATED AS COMPOSITE BEAM IN SELF-COMPACTING CONCRETE. *Jurnal Teknologi*, 77(16), 105–112.
- [66]. Lawan, M., Tahir, M., Ngian, S. & Sulaiman, A. (2015). STRUCTURAL PERFORMANCE OF COLD-FORMED STEEL SECTION IN COMPOSITE STRUCTURES: A REVIEW. *Jurnal Teknologi*, 74:4, 165-175.
- [67]. Lawson, R., Popo-Ola, S. & Varley, D. (2001). INNOVATIVE DEVELOPMENT OF LIGHT STEEL COMPOSITES IN BUILDINGS. In *International union of laboratories and experts in construction materials and structures (RILEM). International symposium on connections between steel and concrete*.
- [68]. Lemes, D. (2007). ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE CONECTORES DE CISALHAMENTO E VIGAS MISTAS CONSTITUIDAS POR PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO E LAJE DE VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS. Tesis doctoral Universidad de Sao Paulo.
- [69]. Liu, Y., Zheng, S., Yoda, T. & Lin, W. (2016). PARAMETRIC STUDY ON SHEAR CAPACITY OF CIRCULAR-HOLE AND LONG-HOLE PERFOBONF SHEAR CONNECTOR. *Journal of Constructional Steel Research*, 117, 64-80.
- [70]. Luo, Y., Li, A. & Kang, Z. (2012). PARAMETRIC STUDY OF BONDED STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS BY USING FINITE ELEMENT ANALYSIS. *Engineering Structures*, 34, 40–51.

- [71]. PUSH TESTS ON INNOVATIVE SHEAR CONNECTOR FOR COMPOSITE BEAM WITH COLD-FORMED STEEL SECTION. In 21st International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures - Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction, 325–337.
- [72]. Majdi, Y., Hsu, C., & Zarei, M. (2014). FINITE ELEMENT ANALYSIS OF NEW COMPOSITE FLOORS HAVING COLD-FORMED STEEL AND CONCRETE SLAB. *Engineering Structures*, 77, 65–83.
- [73]. Majdi, Y., Hsu, C., & Zarei, M. (2014). FINITE ELEMENT MODELING OF NEW COMPOSITE FLOORS HAVING COLD-FORMED STEEL AND CONCRETE SLAB. In Y. W.-W. LaBoube R.A. (Ed.), 22nd International Specialty Conference on Recent Research and Developments in Cold-Formed Steel Design and Construction, 463-477.
- [74]. Malite, M., Nimir, W., De Sales, J., Goncalves, R., Dubey, A., Nayak, A., Malathy, R. (2016). COMPOSITE CONSTRUCTION OF COLD-FORMED STEEL (CFS) SECTION WITH HIGH STRENGTH BOLTED SHEAR CONNECTOR. *Jurnal Teknologi*, 67(1), 67–72.
- [75]. Malite, M., Nimir, W., Goncalves, R. & de Sales, J. (2000). ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF COMPOSITE BEAMS USING COLD-FORMED SHAPES. In 15th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, 307-319.
- [76]. Malite, M., Nimir, W., Goncalves, R. & de Sales, J. (1998). COLD-FORMED SHEAR CONNECTORS FOR COMPOSITE CONSTRUCTIONS. In 14th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, 409-421.
- [77]. Medberry, S.B. & Shahrooz, B.M. (2002). PERFOBOND SHEAR CONNECTOR FOR COMPOSITE CONSTRUCTION. *Engineering Journal AISC*, 39(1), 2-12.
- [78]. Merryfield, G., El-Ragaby, A., & Ghrib, F. (2016). NEW SHEAR CONNECTOR FOR OPEN WEB STEEL JOIST WITH METAL DECK AND CONCRETE SLAB FLOOR SYSTEM. *Construction And Building Materials*, 125, 1-11.
- [79]. Montgomery, D. (2013). DESIGN AND ANALYSIS OF EXPERIMENTS, 8th ed., Wiley, New Jersey,

- [80]. Ñurinda, F., Bermudez, R. & Monge, G. (2008). REVISIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL HOSPITAL MONTE ESPAÑA VILLA FONTANA. ANÁLISIS Y DISEÑO DE SECCIONES COMPUESTAS DE ACERO Y CONCRETO POR EL MÉTODO LRFD. Nicaragua.
- [81]. Ollgaard, J., Slutter, R., & Fisher, J. (1971). SHEAR STRENGTH OF STUD CONNECTORS IN LIGHTWEIGHT AND NORMAL-WEIGHT CONCRETE. AISC Engineering Journal, 55-64.
- [82]. Oguejiofor E.C & Hosain MU. (1994). A PARAMETRIC STUDY OF PERFOBOND RIB SHEAR CONNECTORS. Canadian Journal of Civil Engineering, 21, 614-625.
- [83]. Oguejiofor E.C & Hosain MU. (1997). NUMERICAL ANALYSIS OF PUSH-OUT SPECIMENS WITH PERFOBOND RIB CONNECTORS. Computers & Structures, 64 (4), 617-624.
- [84]. Ollgaard, J. Slutter, R. & Fisher, J. (1971). SHEAR STRENGTH OF STUD CONNECTORS IN LIGHTWEIGHT AND NORMAL-WEIGHT CONCRETE. AISC Engineering journal, 55-64.
- [85]. Papastergiou, D. & Lebet, J. (2014). EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND MODELLING OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF CONFINED GROUTED INTERFACES FOR A NEW STEEL-CONCRETE CONNECTION. Engineering Structures, 74, 180-192.
- [86]. Pathirana, S., Uy, B., Mirza, O. & Zhu, X.. (2016). FLEXURAL BEHAVIOUR OF COMPOSITE STEEL-CONCRETE BEAMS UTILISING BLIND BOLT SHEAR CONNECTORS. Engineering Structures, 114, 181-194.
- [87]. Queiroz, F.D., Nethercot, D.A. & Vellazco, P.C. (2007). FINITE ELEMENT MODELLING OF COMPOSITE BEAMS WITH FULL AND PARTIAL SHEAR CONNECTION. Journal of Constructional Steel Research, 63, 505-521.
- [88]. Queiroz, G., Rodrigues, F., Pereira, S., Pfeil, M. Oliveira, C. & da Mata, L. (2010). In. International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures 2006, Vol. 1.
- [89]. Raj, P.V. & Sathiya B.P. (2017). AN ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SHEAR CONNECTORS IN COMPOSITE SECTIONS. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol 04 (6), 991-999.

- [90]. Saggaff, A., Tahir, M., Azimi, M., & Alhajri, T. (2017). STRUCTURAL ASPECTS OF COLD-FORMED STEEL SECTION DESIGNED AS U-SHAPE COMPOSITE BEAM. In V. B. F. Borgan W.R. Saloma (Ed.), AIP Conference Proceedings (Vol. 1903). American Institute of Physics Inc.
- [91]. Saggaff, A., Alhajri, T., Alenezi, K., Tahir, M., Zin, R., Ngian, S., & Ragaei, M. (2016). EXPERIMENTAL STUDY ON BOLTED SHEAR CONNECTOR ENHANCEMENT IN PRECAST COLD-FORMED STEEL-FERRO CEMENT FOR COMPOSITE BEAM SYSTEM. *Iioab Journal*, 7(1), 446–452.
- [92]. Saggaff, A., Tahir, M., Azimi, M., & Lawan, M. (2016). IMPACT OF BOLTED SHEAR CONNECTOR SPACING IN COMPOSITE BEAM INCORPORATING COLD-FORMED STEEL OF CHANNEL LIPPED SECTION. *Iioab Journal*, 7(1), 441–445.
- [93]. Saggaff, A., Tahir, M. M., Azimi, M., & Lawan, M. M. (2016). INFLUENCE OF BOLTED SHEAR CONNECTOR SIZE IN PUSH-OUT TEST FOR COMPOSITE CONSTRUCTION WITH COLD-FORMED STEEL SECTION. *Iioab Journal*, 7(1), 521–526.
- [94]. Sara, B.M. & Bahram, M.S. (2002). PERFOBOND SHEAR CONNECTORS FOR COMPOSITE CONSRUCTION. *Engineering Journal*, First Quarter, 2-12.
- [95]. Shahabi, S., Sulong, N., Shariati, M., & Shah, S. (2016). PERFORMANCE OF SHEAR CONNECTORS AT ELEVATED TEMPERATURES-A REVIEW. *Steel And Composite Structures*, 20(1), 185–203.
- [96]. Shahabi, S., Sulong, N., Shariati, M., Mohammadhassani, M., & Shah, S. (2016). NUMERICAL ANALYSIS OF CHANNEL CONNECTORS UNDER FIRE AND A COMPARISON OF PERFORMANCE WITH DIFFERENT TYPES OF SHEAR CONNECTORS SUBJECTED TO FIRE. *Steel And Composite Structures*, 20(3), 651–669.
- [97]. Shankar, B., Liu, Y. (2006). EXPERIMENTAL STUDY OF COMPOSITE COLD-FORMED STEEL C-SECTION FLOOR JOISTS. *JOURNAL OF CONSTRUCTIONAL STEEL RESEARCH*, 62, 995-1006.
- [98]. Shariati, M., Ramli, N., Suhatri, M., Shariati, A., Arabnejad, M. & Sinaei, H. (2012). BEHAVIOUR OF C-SHAPED ANGLE SHEAR CONNECTORS UNDER

- MONOTONIC AND FULLY REVERSED CYCLIC LOADING: AN EXPERIMENTAL STUDY. *Materials and Design*, 41, 67-73.
- [99]. Shariati, M., Khorramian, K., Maleki, S., Jalali, A. & Tahir, M.M. (2017). NUMERICAL ANALYSIS OF TILTED ANGLE SHEAR CONNECTORS IN STEEL-CONCRETE COMPOSITE SYSTEMS. *Steel and Composite Structures*, Vol.23(1), 67-85.
- [100]. Shi, Y., Zhou, X., Xu, L., Yao, X. & Wang, W. (2019). A SIMPLIFIED METHOD TO EVALUATE THE FLEXURAL CAPACITY OF LIGHTWEIGHT COLD-FORMED STEEL FLOOR SYSTEM WITH ORIENTED STRAND BOARD SUBFLOOR. *Thin-Walled Structures*, 134, 40-51.
- [101]. Shi, Y., Yang, K., Guan, Y., Yao, X., Xu, L. & Zhang, H. (2020). THE FLEXURAL BEHAVIOR OF COLD-FORMED STEEL COMPOSITE BEAMS. *Thin-Walled Structures*, 218, 1-15.
- [102]. Slutter, R., & Driscoll, G. (1963). FLEXURAL STRENGTH OF STEEL AND CONCRETE COMPOSITE BEAMS. Final report of an investigation of composite beams for buildings sponsored by the American Institute of Steel Construction, 1-57.
- [103]. Sotelino, E. & Chung, W. (2006). THREE-DIMENSIONAL FINITE ELEMENT MODELING OF COMPOSITE GIRDER BRIDGES. *Engineering Structures*, 28, 63-71.
- [104]. STANDARDS AUSTRALIA – STANDARDS NEW ZELAND.(AS/NZS 4600/2005). COLD FORMED STEEL STRUCTURES. Australia.
- [105]. Tahir, M., Saggaff, A., Azimi, M. & Lawan, M. (2016). IMPACT OF BOLTED SHEAR CONNECTOR SPACING IN COMPOSITE BEAM INCORPORATING COLD FORMED STEEL OF CHANNEL LIPPED SECTION. *IIOAB Journal*, 7, 441-445.
- [106]. Tahir, M.M., Bamaga, S.O., Tan, C.S., Shek, P.N. & Aghlara, R. (2019). PUSH-OUT TEST ON THREE INNOVATIVE SHEAR CONNECTORS FOR COMPOSITE COLD-FORMED STEEL CONCRETE BEAMS. *Construction and Building Materials*, 223, 288-298.
- [107]. Tahir, M., Bamaga, S., Ngian, S., Mohamad, S., Sulaiman, A., & Aghlara, R. (2019). STRUCTURAL BEHAVIOUR OF COLD-FORMED STEEL OF DOUBLE C-LIPPED CHANNEL SECTIONS INTEGRATED WITH CONCRETE SLABS AS

- COMPOSITE BEAMS. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 16(5), 1–15.
- [108]. Tan, C., Lee, Y., Mohammad, S., Lim, S., Lee, Y., & Lim, J. (2015). FLEXURAL BEHAVIOUR OF REINFORCED SLAB PANEL SYSTEM WITH EMBEDDED COLD-FORMED STEEL FRAMES AS REINFORCEMENT. *Jurnal Teknologi*, 74(4), 39–44.
- [109]. Thivya, J., & Malathy, R. (2016). PERFORMANCE OF CONCRETE FILLED IN COLD FORM STEEL SHEET WITH SHEAR CONNECTOR UNDER PURE BENDING. *Journal Of Scientific & Industrial Research*, 75(3), 172–175.
- [110]. Titoum, M., Mazoz, A., Benanane, A. & Ouinas, D. (2016). EXPERIMENTAL STUDY AND FINITE ELEMENT MODELLING OF PUSH-OUT TEST ON A NEW SHEAR CONNECTOR OF I-SHAPE. *Advanced Steel Construction Vol.12, N°4*, 487–506.
- [111]. Valencia, G. (2010). DISEÑO BÁSICO DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE ACUERDO CON NSR-10. 1° Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [112]. Valsa I., Sharada H., Manjula K., & Iqbal, M. (2013). FLEXURAL BEHAVIOR OF COLD-FORMED STEEL CONCRETE COMPOSITE BEAMS. *Steel and Composite Structures*, 14(2), 105–120.
- [113]. Verissimo, G.S. (2007). DEVELOPMENT OF A SHEAR CONNECTOR PLATE GEAR FOR COMPOSITE STRUCTURES OF STEEL AND CONCRETE AND STUDY THEIR BEHAVIOR (En Portugués). Tesis de Doctorado Universidad Federal de Minas Gerais Belo Horizonte.
- [114]. Viest, I. M., Siess, C. P., Appleton, J. H. & Newmark N. M. (1952). FULL-SCALED TEST OF CHANNEL SHEAR CONNECTORS AND COMPOSITE T-BEAMS. Report of investigation. University of Illinois Bulletin N° 405.
- [115]. Vinnakota, S., Foley, C., & Vinnakota, M. (2003). DESIGN OF PARTIALLY OR FULLY COMPOSITE BEAMS WITH RIBBED METAL DECK USING LRFD SPECIFICATIONS. *Engineering Journal/American Institute of Steel Construction*. 60-78.
- [116]. Wehbe, N., Wehbe, A., Dayton, L. & Sigl, A. (2011). DEVELOPMENT OF CONCRETE/COLD FORMED STEEL COMPOSITE FLEXURAL MEMBERS. In *ASCE Structures Congress 2011*, 3099-3109.

-
- [117]. Youns, M.A., Hassaneen, S.A., Badr, M.R. & Salem, E.S. (2016). COMPOSITE BEAMS OF COLD FORMED STEEL SECTIONS AND CONCRETE SLAB. *International Journal of Engineering Development and Research*, Vol. 4(4), 165-177.
- [118]. Yu, J., Wang, L., & Chang, J. (2010). INTERFACE SHEARING FORCE ANALYSIS OF COMPOSITE BEAMS WITH COLD FORMED STEEL U SECTION BASED ON ENERGY THEORY. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 26(1), 108–111.
- [119]. Yu, Wei-Wen & Laboube, R. (2010). COLD FORMED STEEL DESIGN. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- [120]. Zhao, C. & Liu, Y.Q. (2012). EXPERIMENTAL STUDY OF SHEAR CAPACITY OF PERFOBOND CONNECTOR. *Journal of Engineering Mechanics*, 29(12), 349-354.