

Literature review for the analysis and comparison of shear connectors in composite structures.

Revisión bibliográfica para el análisis y comparación de conectores de corte en estructuras compuestas.

Autores:

Naranjo Cuesta, Jamil Fernando
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras Sismorresistentes
Cuenca-Ecuador



jamil.naranjo.88@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-4365-7064>

Barbecho Chuisaca, Juan
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras Sismorresistentes
Cuenca-Ecuador



jbarbecho@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-3524-4019>

Citación/como citar este artículo: Naranjo, J. y Barbecho, J. (2022). Revisión bibliográfica para el análisis y comparación de conectores de corte en estructuras compuestas. MQRInvestigar, 6(3), 1838-1862.
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.3.2022.1838-1862>

Fechas de recepción: 15-AGO-2022 aceptación: 01-SEP-2022 publicación: 15-SEP-2022



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

Ecuador es un país de alta vulnerabilidad sísmica, su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico y la existencia de zonas de subducción donde se libera el 85% de la energía sísmica, a través de terremotos y erupciones volcánicas, hace que existan consideraciones especiales al momento de diseñar y construir diferentes sistemas de estructuras. En particular, en los sistemas de estructuras compuestas, los conectores de corte asumen un papel importante al momento de transferir la carga entre el acero y el hormigón y es en este caso donde se desarrollan varios tipos de conectores de corte de acuerdo con la distribución de las fuerzas de corte y la dependencia funcional entre la resistencia y la deformación. En el presente artículo se realiza una revisión bibliográfica de estos tipos de conectores, se detallan expresiones que permiten estimar la resistencia en algunos de los casos y en otros, se revisan conectores que se encuentran en estudio.

Palabras clave: Vulnerabilidad, estructuras, compuestas, resistencia, conectores, carga, transferir.

Abstract

Ecuador is a country with high seismic vulnerability. Its location in the Pacific Ring of Fire and subduction zones, where 85% of seismic energy is released through earthquakes and volcanic eruptions means that there special considerations must be taken into account when designing and building different structures and systems. This is particularly true for composite structure systems as shear connectors take on an important role when transferring the load between steel and concrete. This is the main reason why various types of shear connectors are developed according to the distribution loads and the dependance between strength and strain. This article is a bibliographic review of these types of connectors. Expressions that allow for estimating the resistance in some of these types of connectors is carried out along with expressions that allow for estimating the resistance in some of the cases are detailed, and in other, connectors that are under study are reviewed.

Keywords: Vulnerability, structures, composites, resistance, connectors, load, transfer.

Introducción

La alta vulnerabilidad sísmica en el austro ecuatoriano, y del país en general, así como la implementación de soluciones estructurales compuestas, como una solución efectiva en el sector de la construcción, por sus beneficios en relación al uso de materiales y aumento de la capacidad de carga y rigidez (Zúñiga, 2010). Además, en los sistemas de estructuras compuestas, los conectores de corte asumen un papel importante al momento de transferir la carga entre el acero y el hormigón (Erazo Hernández, 2017).

Las características, comportamiento e implementación de las estructuras compuestas, provoca que se vuelvan estructuras indispensables en el desarrollo económico y social de sus habitantes, las cuales, combinando la acción sísmica con las condiciones de carga como es el factor de impacto, hacen indispensable el análisis de cada uno de sus elementos. En este contexto, para un correcto análisis, es importante mencionar la implementación de estructuras compuestas, principalmente para estructuras de puentes, a mediados de la década de 1950, así como sistemas de entresijos. Su principal crecimiento en la última década fue el resultado de las disposiciones dadas en la Especificación del AISC de 1961 (Ollgaard, J. G.; Slutter, R. G.; Fisher, 1971). Estos conectores en estructuras compuestas se pueden utilizar con la finalidad de distribuir las grandes fuerzas de inercia horizontales en la losa a los principales elementos de resistencia de carga lateral de la estructura. Durante un terremoto, estos conectores de cortante están sujetos a carga cíclica inversa (Hawkins & Mitchell, 1984).

El diseño de conectores de corte es un aspecto de vital importancia al momento de diseñar vigas mixtas (Shariati et al., 2014). Los conectores de corte son de muchos tipos, y de acuerdo con la distribución de las fuerzas de corte y la dependencia funcional entre la resistencia y la deformación, a menudo se clasifican como rígidos o flexibles. Para conectores rígidos de cortante, las fuerzas cortantes son resistidas a través del lado frontal por cortante, y en la proximidad de la resistencia máxima su deformación es insignificante. Este tipo de conector produce una tensión concentrada más fuerte para el hormigón, dando como resultado falla del hormigón o de la soldadura. Mientras que, para los conectores flexibles a cortante, los esfuerzos cortantes son resistidos por flexión, tensión o cortante en la raíz, en la conexión de la viga de acero, punto que, al alcanzar los valores de resistencia última, dichos conectores se someten a deformación plástica. Los conectores de corte flexibles son más dúctiles y la elección de un tipo específico de conector se fundamenta en su resistencia última que depende no solo de las

propiedades, también depende del grado de hormigón empleado. tipos de conector de cortante que se pueden encontrar en las estructuras compuestas.

Desarrollo

Espárragos con cabeza -Headed studs-

Al momento de resistir fuerzas de corte horizontal y de levantamiento vertical en estructuras compuestas de acero y hormigón, el tipo de conector más utilizado es el perno de cabeza también conocido como espárrago Nelson (Ali Shariati, 2012).

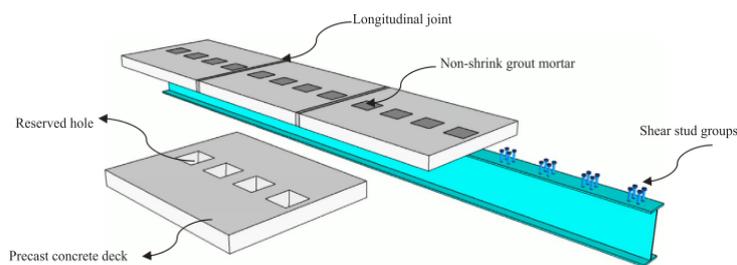


Figura 1: Grupo de conectores de corte en vigas prefabricadas

Fuente 1: (Wang et al., 2019)

Los estándares AISC (2005b), CSA (2001) y Eurocode (2004), proporcionan ecuaciones de diseño para el cálculo de la resistencia de un espárrago con cabeza (a cortante). Se han realizado varias investigaciones de la capacidad de corte de este tipo de espárragos, y los valores tabulados se pueden encontrar entre otras bibliografías en BS 5950: Parte 3 (BSI, 1990) y BS 5400: Parte 5 (BSI, 1983) (Ali Shariati, 2012).

Dimensions of stud shear connectors		Characteristic strength of concrete				
Nominal shank diameter	Nominal height	As-welded height	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
mm	mm	mm	25	30	35	40
			kN	kN	kN	kN
25	100	95	146	154	161	168
22	100	95	119	126	132	139
19	100	95	95	100	104	109
19	75	70	82	87	91	96
16	75	70	70	74	78	82
13	65	60	44	47	49	52

NOTE 1 For concrete of characteristic strength greater than 40 N/mm² use the values for 40 N/mm².
 NOTE 2 For connectors of heights greater than tabulated use the values for the greatest height tabulated.

Figura 2: Resistencia característica de conectores de corte tipo espárragos con cabeza para hormigón de peso normal

Fuente 2: (BSI, 1990)

La resistencia a cortante de este tipo de conectores, se obtiene de la siguiente forma (Comité Europeo de Normalización, 2011):

$$P_{Rd} = \frac{0.8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\gamma_V} \quad (1)$$

O:

$$P_{Rd} = \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_V} \quad (2)$$

Tomando el menor valor, con:

$$\alpha = 0,2 \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \quad \text{para } 3 \leq h_{sc}/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{para } h_{sc}/d > 4$$

Donde:

γ_V : Coeficiente parcial de seguridad, debe aplicarse al valor característico inferior o al valor nominal de la resistencia;

d : Diámetro del vástago del perno, $16 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$;

f_u : Resistencia última a tracción especificada del material del perno, pero no mayor de 500 N/mm^2

f_{ck} : Valor característico de la resistencia a compresión del hormigón en probeta cilíndrica a la edad considerada con densidad no menor de 1750 kg/m^3

h_{sc} : Altura nominal total del perno

De conformidad con (Comité Europeo de Normalización, 2011), inciso 6.6.3.1, γ_V recomendado es 1,25.

Cuando los pernos con cabeza producen hendimiento en la dirección del espesor de la losa, en puentes por ejemplo, se coloquen de modo que las fuerzas puedan producirse en dirección del

espesor de la losa (ver Figura 3) y cuando no hay cortante, la resistencia a la rasante se puede determinar de conformidad con la fórmula (1), siempre que se disponga armadura transversal (Figura 3) de modo que $e_v \geq 6d$ y la longitud de anclaje $v \geq 14d$. Finalmente, la fuerza de hendimiento debería resistirse mediante cercos que se calcularían para una fuerza de tracción de $0,3PRd$ por perno conector. Ahora, es imprescindible señalar que estos cercos deben estar separados por el menor valor entre $18d$ y la separación longitudinal de los conectadores (Comité Europeo de Normalización, 2011).

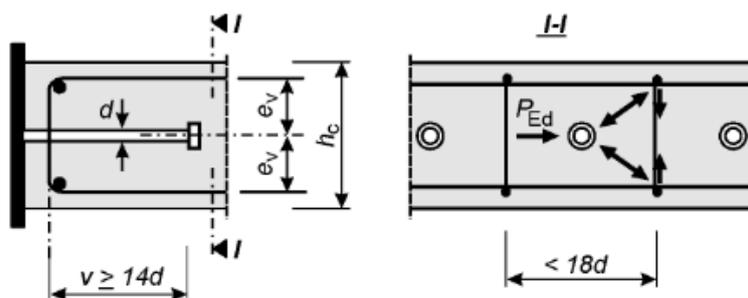


Figura 3: Armadura pasiva local para las fuerzas de hendimiento

Fuente 3: (Comité Europeo de Normalización, 2011)

Los espárragos que produzcan fuerzas de hendimiento en la dirección del espesor de la losa (ver Figura 3), la resistencia a cortante se determina para los estados límites últimos; con la siguiente fórmula, siempre que el resultado sea menor que el encontrado en las expresiones (1) y (2) señaladas anteriormente (Comité Europeo de Normalización, 2011):

$$P_{Rd,L} = \frac{1.4 \cdot k_v \cdot (f_{ck} \cdot d \cdot a_r')^{0.4} \cdot \left(\frac{a}{s}\right)^{0.3}}{\gamma_v} \quad (3)$$

Donde:

a_r' : Distancia eficaz al borde; $= a_r - c_v - \frac{\Phi_s}{2} \geq 50$ mm

k_v : 1 para la conexión en una posición de borde;

k_v : 1.14 para la conexión en una posición intermedia;

γ_v : Coeficiente parcial de seguridad;

f_{ck} : Valor característico de la resistencia del hormigón medida en probeta cilíndrica a la edad considerada, en N/mm^2

d : Diámetro del vástago del perno con $19\text{ mm} \leq d \leq 25\text{ mm}$

h : Altura total del perno con cabeza con $\frac{h}{d} \geq 4$;

a : Separación horizontal entre los pernos con $110 \leq a \leq 440\text{ mm}$

s : Separación entre cercos con $\frac{a}{2} \leq s$ y $\frac{s}{a_r} \leq 3$;

ϕ_s : Diámetro de los cercos con $\phi_s \geq 8\text{ mm}$

ϕ_l : Diámetro de la armadura longitudinal con $\phi_l \geq 10\text{ mm}$

c_v : Recubrimiento vertical del hormigón en mm

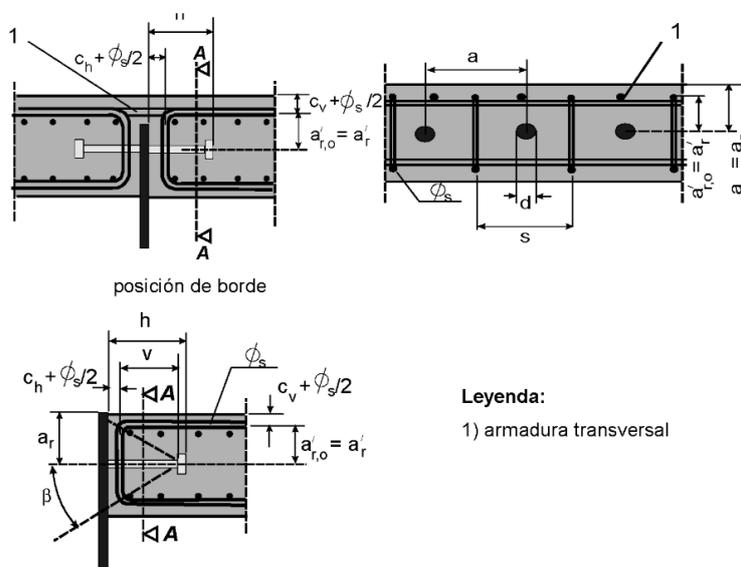


Figura 4: Posición y parámetros geométricos de las conexiones de cortante con pernos dispuestos horizontalmente

Fuente 4: (Comité Europeo de Normalización, 2011)

La resistencia a la fatiga y los requisitos para los estados límites de servicio es preciso comprobar para una combinación de efectos locales y globales simultáneos (Comité Europeo de Normalización, 2011). La fuerza longitudinal P_{Ed} sobre un conector a una distancia x del alma más cercana se determina con la siguiente expresión (Comité Europeo de Normalización, 2011):

$$P_{Ed} = \frac{v_{LEd}}{n_{tot}} \cdot \left(\left(3.85 \cdot \left(\frac{n_w}{n_{tot}} \right)^{-0.17} - 3 \right) \cdot \left(1 - \frac{x}{b} \right)^2 + 0.15 \right) \quad (4)$$

Donde:

v_{LEd} : Valor de cálculo del esfuerzo rasante por unidad de longitud en la losa de hormigón debido a los efectos globales para el alma considerada, determinado empleando las anchuras eficaces para el arrastre para el cortante;

n_{tot} : Número total de conectores del mismo tamaño por unidad de longitud de viga, como se muestra en la Figura 5, cuando el número de conectores por unidad de área no aumente con x ;

n_w : Número de conectores por unidad de longitud colocados dentro de una distancia al alma igual al mayor valor entre $10t_f$ y 200 mm, donde t_f corresponde al espesor de la chapa de acero. Para estos conectores x se debe tomar como 0 .

b : Es la mitad de la distancia entre el alma adyacente o la distancia entre el alma y el borde libre del ala.

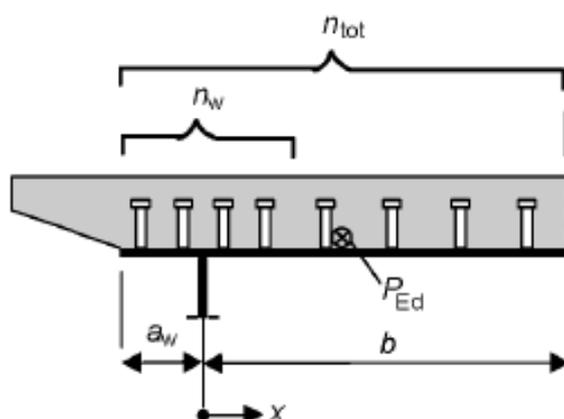


Figura 5: Definición de símbolos de la expresión (3)

Fuente 5 (Comité Europeo de Normalización, 2011)

En la tabla que se muestra a continuación, se presentan los límites superiores de la separación entre conectores de cortante en una placa mixta.

		Clase 2	Clase 3
Transversal a la dirección de la tensión de compresión	ala externa:	14 tε	20 tε
	ala interna:	45 tε	50 tε
En la dirección de la tensión de compresión	alas externas e internas:	22 tε	25 tε
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$, con f_y en N/mm ² t – espesor del ala de acero			

Tabla 0-1: Límites superiores de la separación entre conectadores

Fuente 6: (Comité Europeo de Normalización, 2011)

Donde:

Clase 1: Plástica	Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos.
Clase 2: Compacta	Permiten el desarrollo del momento plástico con una capacidad de rotación limitada.
Clase 3: Semicompacta o Elástica	En la fibra más comprimida se puede alcanzar el límite elástico del acero pero la abolladura impide el desarrollo del momento plástico
Clase 4: Esbelta	Los elementos total o parcialmente comprimidos de las secciones esbeltas se abollan antes de alcanzar el límite elástico en la fibra más comprimida.

Tabla 0-2: Clasificación de secciones transversales solicitadas por momentos flectores

Fuente 7: (Básico, 2006)

Es importante señalar que, en esta línea de conectores de corte, se encuentran los conectores atornillados que se pueden utilizar en edificios residenciales y comerciales, aparcamientos y sistemas de edificios modulares. Se espera que los costos de construcción con el uso de conectores de corte atornillados sean más altos en comparación con los pernos de cabeza tradicionales. Aun así, el análisis más rápido del costo del ciclo de vida y el montaje puede llevar, para ciertas aplicaciones, a que la economía total de las estructuras prefabricadas se vuelva competitiva. Sin embargo, los conectores de corte atornillados en estructuras compuestas rara vez se utilizan. Una de las posibles razones podría ser la falta de investigación detallada y reglas de diseño con respecto a su comportamiento específico en contraste con los pernos con

cabeza soldada, como los conectores de corte más ampliamente utilizados y estudiados (Pavlović et al., 2013).

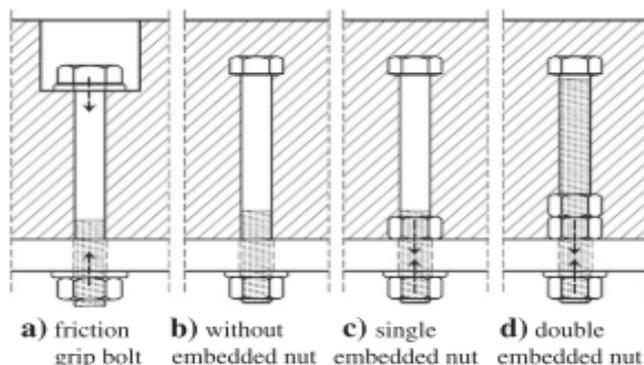


Figura 6: Conectores de corte atornillados

Fuente 8: (Pavlović et al., 2013)

En general, la resistencia que proporcionan es relativamente alta (más adelante se comparará con otros conectores) y el comportamiento es muy bueno debido a que no depende exclusivamente de las condiciones del hormigón. Una de las desventajas de este tipo de conector es que tienen una ductilidad relativamente baja lo que provoca que no pueda sufrir un gran deslizamiento interfacial producto de las cargas aplicadas.

Conectores Perfobond (PBL).

Este tipo de conector incluye una placa de acero soldada, con varios orificios (ver Figura 7) (Ahn et al., 2010). El paso de la armadura a través de los agujeros del alma del perfobond o simplemente la superposición a las armaduras transversales que generalmente se utilizan sobre ellos permitirá el anclaje de estas barras (Ali Shariati, 2012).

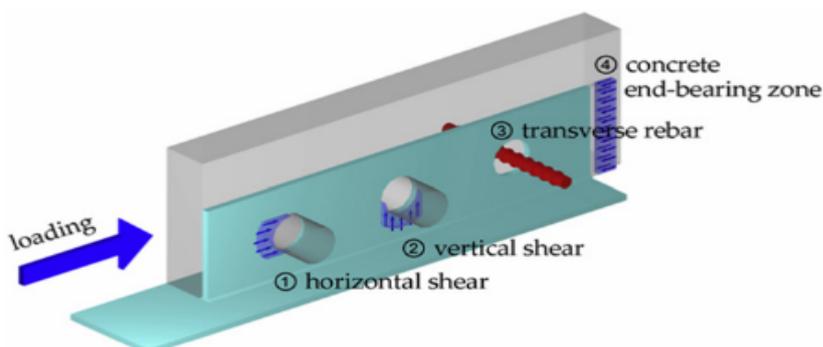


Figura 7: Mecanismo de trabajo de un conector de corte perfobond.

Fuente 9: (Ahn et al., 2010)

Las ecuaciones desarrolladas por varios autores se muestran en la Tabla 0-3 y son aplicables para estimar la resistencia a corte de este tipo de conectores:

Researchers	Formulas	Notation
Oguejiofor and Hosain [16]	$P_u = 0.590A_{cc}\sqrt{f'_c} + 1.233A_{tr}f_y + 2.871nD^2\sqrt{f'_c}$	P_u : Bearing capacity of per PBL shear connector
Medberry and Shahrooz [14]	$P_u = 0.747bh\sqrt{f'_c} + 0.413b_fL_c + 0.9A_{tr}f_y + 1.66n\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2\sqrt{f'_c}$	A_{cc} : Shear area of concrete per connector
Verissimo et al. [21]	$P_u = 4.04\frac{h_{cc}t_{cc}f'_c}{b} + 2.37nD^2\sqrt{f'_c} + 0.164A_{cc}\sqrt{f'_c} + 31.85 \times 10^6\left(\frac{A_{tr}}{A_{cc}}\right)$	A_c : Sectional area of concrete per connector
Xue et al. [28]	$P_u = 2\alpha\left(\frac{D^2D^2-d^2d^2}{4}\right)f_l + 2\frac{\pi}{4}d^2f_l$	f'_c : Cylinder strength of concrete
Su et al. [19]	$P_u = \begin{cases} A_{cc}\tau_{cu} + A_s\tau_{sy} & A_s(\beta A_s\tau_{su}-\tau_{sy}) \leq A_{cc}\tau_{cu} \\ \beta A_s\tau_{su} & A_s(\beta A_s\tau_{su}-\tau_{sy}) > A_{cc}\tau_{cu} \end{cases}$	f_{ck} : Compressive strength of concrete
He et al. [9]	$P_u = \tau_b A_b + 1.06A_c f_{ck} + 2.09A_d f_y$	A_{tr} : Area of transverse reinforcement
		A_s : Shear area of the passing rebar
		A_d : Area of the passing rebar
		f_y : Yield strength of reinforcement
		n : Number of holes
		D : Diameter of the hole
		d : Diameter of the passing rebar
		b : Thickness of the RC slab
		h : Length of the RC slab in front of the connector
		b_f : Width of the steel section flange
		L_c : Contact length between concrete and flange

Tabla 0-3: Fórmulas para estimar la capacidad de corte de un conector Perfobond

Fuente 10: (Zhao et al., 2018)

La capacidad de corte de este tipo de conectores viene principalmente de la adhesión, la fuerza de fricción interfacial, las acciones del pasador y la fuerza de soporte final. Sin embargo, para el desarrollo de las fórmulas citadas en la Tabla 0-3 no se ha abordado con profundidad la contribución de cada componente. Es en este sentido que (Zhao et al., 2018) desarrolla un estudio experimental en 18 conectores de cortante PBL, en la cual cuantifica las fuerzas de fricción y la acción de la barra de refuerzo que pasa por los agujeros. En este estudio se propone la siguiente fórmula para estimar la capacidad portante de estos conectores, que comparado con ensayos físicos tienen errores relativos promedio y máximo de solo -3.52% y -8.80%, respectivamente:

$$P_u = 0.65(A_{tr}f_y + A_d f_y) + (5.512d^2 - 0.0028d^4)n\sqrt{f_c f_y} \quad (5)$$

Todos los parámetros presentados en la fórmula (5) se encuentran en MPA y en mm, según corresponda. Cada parámetro se encuentra detallado en la Tabla 0-3. La presente ecuación el Autor la desarrolla a través del Departamento de Ingeniería de Puentes, Universidad Southwest Jiaotong, Chengdu 610031, China.

A diferencia de los conectores tipo espárrago con cabeza, la resistencia de este tipo de conector depende en gran medida de las condiciones del hormigón, resistencia a la compresión, vaciado, etc., así como de la disposición del acero de refuerzo. Del presente análisis, se considera que la fórmula (5) modifica las fórmulas presentadas en la Tabla 0-3, considerando para este caso las fuerzas de fricción y la acción de la barra de refuerzo que pasa por los agujeros, siendo recomendable emplearla directamente.

Conector tipo Canal

A diferencia de los pernos de corte con cabeza, los conectores de corte tipo canal se sueldan en vigas de acero utilizando equipo de soldadura convencional, y el tamaño del conector se puede ajustar para que la capacidad de fuerza horizontal requerida en la interfaz de hormigón de acero se pueda lograr con menos cantidad de conectores que los requeridos en caso de espárragos con cabeza (Baran & Topkaya, 2014). Esto se debe a que la capacidad de carga de un conector de corte de canal es mayor que la de un conector de corte de espárrago (Maleki & Bagheri, 2008).

La resistencia de este tipo de mecanismo es desarrollada a través de la soldadura del ala de la viga para una fuerza Q_n , siempre teniendo en cuenta la excentricidad en el conector. La resistencia nominal del conector embebido en una losa de concreto sólido se determina a través de la siguiente expresión (AISC, 2010):

$$Q_n = 0.3 \cdot (t_f + 0.5 \cdot t_w) \cdot l_a \cdot \sqrt{f'_c} \cdot E_c$$

Donde:

- l_a : longitud del canal (mm)
- t_f : espesor del ala del canal (mm)
- t_w : espesor del alma del canal (mm)

La cantidad de conectores que se requieren entre la sección de momento de flexión máximo, positivo o negativo, y la sección adyacente de momento cero es igual a la fuerza de corte horizontal para la resistencia nominal de un conector (AISC, 2010).

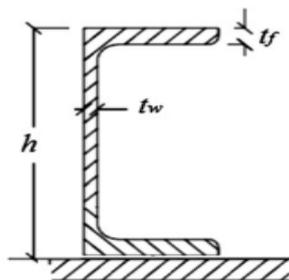


Figura 8: Conector de conector tipo Canal

Fuente 11: (Shariati et al., 2013)

(Salmon G et al., 2009) realiza una comparación entre la resistencia de los conectores de corte tipo espárragos con cabeza y el conector tipo Canal (ver tabla Tabla 0-4), valores calculados a través de las ecuaciones proporcionadas por (AISC, 2010):

Connector	Concrete strength f'_c (ksi)		
	3.0	3.5	4.0
1/2" diam × 2" headed stud	9.4	10.5	11.6
5/8" diam × 2-1/2" headed stud	14.6	16.4	18.1
3/4" diam × 3" headed stud	21.0	23.6	26.1
7/8" diam × 3-1/2" headed stud	28.6	32.1	35.5
Channel C3×4.1	10.2 L_c *	11.5 L_c	12.7 L_c
Channel C4×5.4	11.1 L_c	12.4 L_c	13.8 L_c
Channel C5×6.7	11.9 L_c	13.3 L_c	14.7 L_c

*AISC Formula (I3-3), Eq. 16.8.5, used for studs and AISC Formula (I3-4), Eq. 16.8.6, used for channels. Studs, A108 Type 2, $F_u = 60$ ksi.

* L_c = Length of channel, in.

Tabla 0-4: Resistencia nominal Q_n (Kips) para conectores tipo espárragos con cabeza y conectores tipo canal

Fuente 12: (Salmon G et al., 2009)

De los valores presentados en la Tabla 0-4 se puede concluir que, para tamaños pequeños de los conectores tipo canal C3X4.1, C4X5.4 y C5X6.7 la resistencia es aproximadamente similar al de los conectores tipo perno de 1/2" y 5/8". Sin embargo, a medida que se incrementa el tamaño del conector tipo C, la resistencia será mayor que la de los espárragos, es decir, el tamaño del conector se puede ajustar para que la capacidad de fuerza horizontal requerida en la interfaz de hormigón de acero se pueda lograr con menos cantidad de conectores que los requeridos en caso de espárragos con cabeza.

1. Otros tipos de conectores de corte

1.1.1 T – Perfobond

La principal diferencia entre los conectores Perfobond y T-Perfobond es la presencia de una brida, proporcionando un anclaje adicional al sistema. Los resultados del estudio desarrollado por (Vianna et al., 2009), muestran claramente la resistencia significativa de los dos conectores enchapados, lo que conduce a un menor número de conectores y una mayor separación entre conectores. El estudio, además, muestra que los conectores T-Perfobond tienen una mayor resistencia y rigidez que los conectores Perfobond para geometrías de placas longitudinales similares. La ventaja de usar ese tipo de conector también puede estar dictada por el hecho de que se produce con secciones I o H laminadas ordinarias, ahorrando material y mano de obra (Vianna et al., 2009).

Para evitar una pérdida prematura de rigidez en la conexión, el detalle del conector de nervios en T debe minimizar el efecto palanca (Ferreira, 2000). Es importante señalar que, en lo que respecta a los conectores T-Perfobond, el modelo del Eurocódigo 4, probado para evaluar la resistencia, resultó ser inadecuado y, por lo tanto, se necesita más investigación para desarrollar y proponer un modelo para esa predicción de resistencia (Vianna et al., 2009).



Figura 9: Geometrías típicas de los conectores probados por (Vianna et al., 2009)

Fuente 13: (Vianna et al., 2009)

En la presente revisión bibliográfica no se identifican ecuaciones que permitan estimar la resistencia de este tipo de conector.

1.1.2 Conectores con tiras oscilantes

La forma curva de este tipo de conectores dará una mejor transferencia de fuerza entre el acero y el hormigón en comparación con un conector recto. La capacidad de carga de este conector es mayor que, por ejemplo, la de los pernos de cabeza y los conectores en forma de T, pero en el caso de concreto de resistencia ordinaria y de peso normal, su rendimiento es un poco decepcionante debido a la caída rápida de la capacidad de carga después del pico. Sin embargo, la ausencia de dicho comportamiento cuando se utilizan en hormigón ligero, hormigón con fibras u hormigón de alta resistencia permite que los conectores oscilantes, tengan un buen comportamiento (Rodera, 2004).

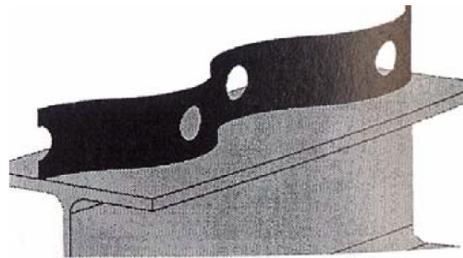


Figura 10: Conectores con tiras oscilantes

Fuente 14: (Rodera, 2004)

En la presente revisión bibliográfica no se identifican ecuaciones que permitan estimar la resistencia de este tipo de conector.

1.1.3 Conector en forma de onda

El objeto de la forma curva es mejorar la transferencia de fuerza entre el acero y el hormigón circundante a diferencia de un conector recto. Sin embargo, en mucho más difícil soldar usando un equipo convencional, siendo dificultoso que la soldadura pueda realizarse con éxito empleando cualquier equipo (Galjaard et al.,2001) lo cual puede dificultar y encarecer la construcción debido a factores como tiempo y mano de obra.

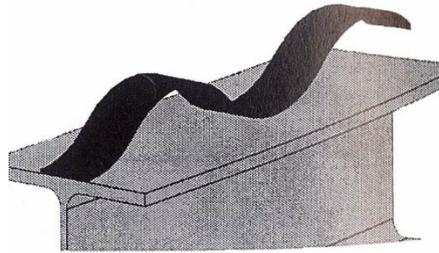


Figura 11: Conectores en forma de onda

Fuente 15:(Rodera, 2004)

La capacidad de carga de este tipo de mecanismo de transferencia de carga es mayor que la de un perfobond o un conector en T soldada Zingoni, A. (2001). En la presente revisión bibliográfica no se identifican ecuaciones que permitan estimar la resistencia de este tipo de conector.

1.1.4 Conectores en T

Los conectores en forma de T tienen la resistencia característica más alta y el modo de falla cambia para diferentes resistencias, logran la misma capacidad de carga que los conectores oscilantes (Rodera, 2004). La tensión de golpeo en el frente de la T es bastante alta, debida a que el área es relativamente pequeña, ocurre un aplastamiento local del concreto, lo que da como resultado un comportamiento cuasi-plástico (Zingoni, 2001).

Un conector en T tiene una sección transversal mayor que una sola tira, y por su forma podría evitar la separación vertical entre la sección de acero y el hormigón (Ahn et al., 2010).

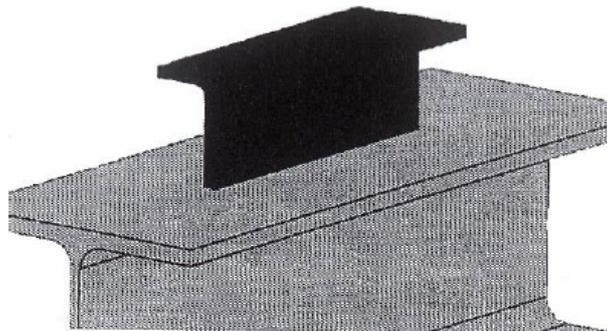


Figura 12: Conector en T

Fuente 16: (Rodera, 2004)

En la presente revisión bibliográfica no se identifican ecuaciones que permitan estimar la resistencia de este tipo de conector.

1.1.5 Conectores de corte piramidales

En este tipo de conector se espera suficiente resistencia y rigidez a la flexión para las cargas durante y después de la construcción de una losa compuesta de placa de acero y hormigón. El problema de la fatiga debería desempeñar un papel importante en el diseño cuando se aplica una losa mixta TSC a un tablero de un puente sujeto a cargas de tráfico. La resistencia a la fatiga de la placa inferior delgada puede reducirse mediante la soldadura de conectores de corte (Ali Shariati, 2012).

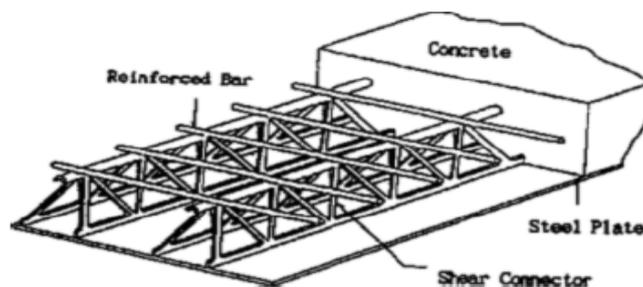


Figura 13: Conector de corte piramidal

Fuente 17: (Lee & Han, 1998)

En la presente revisión bibliográfica no se identifican ecuaciones que permitan estimar la resistencia de este tipo de conector.

1.1.6 Conectores no soldados

Este tipo de conectores se fijan mediante clavado. La ventaja de este conector es que no necesita ningún tipo de soldadura y que permite fijar la chapa perfilada al soporte en una sola operación asegurando el enlace entre la losa de hormigón y la viga de acero (Crisinel, 1990).

Siempre que los conectores estén colocados correctamente, la reducción de resistencia de los conectores no soldados provocada por la presencia de chapas perfiladas se puede estimar con la misma fórmula que se ha desarrollado para los pernos de cortante (Crisinel, 1990).

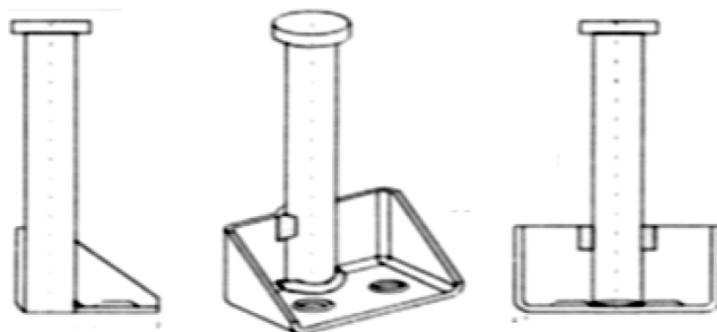


Figura 14: Conectores no soldados

Fuente 18: (Ali Shariati, 2012)

En función de la revisión bibliográfica expuesta y citados algunos de los conectores más relevantes por su capacidad y comportamiento, (Galjaard, 2001) presenta alguno de los resultados de unas pruebas push-out realizadas en conectores de corte para secciones compuestas, pruebas las realiza de conformidad con el Eurocódigo 4 (1997).

	Normal weight concrete Concrete grade 30/37		Light weight concrete Concrete grade 30/37	
	Strength P_{Rk} (kN)	Ductility δ_{uk} (mm)	Strength P_{Rk} (kN)	Ductility δ_{uk} (mm)
Headed studs	102	5.0	92	4.9
Continuous perfobondstrip	653	0.8	485	2.9
Oscillating perfobondstrip	974	1.9	858	2.7
Waveform strip	200	1.8	N/A	N/A
T-shape connector	633	16.1	657	38.8

Tabla 0-5: Fuerza y ductilidad de diferentes conectores de corte

Fuente 19: (Rodera, 2004)

1.1.7 Conectores tipo Hilti X-HVB

Son conectores en forma de L, con clavos instalados a través de una herramienta accionada por pólvora, donde el X-HVB sirve para resistir la fuerza de corte longitudinal, mientras que la cabeza del vertical. Este tipo de conector es ideal entre losas de hormigón y vigas de acero con o sin cubierta. La resistencia es la que se muestra a continuación (X-hvb, 2017):

Designacion	Resistencia característica PRk [kN]	Resistencia de cálculo PRd [kN]
X-HVB 40	29,0	23
X-HVB 50	29,0	23
X-HVB 80	32,5	26
X-HVB 95	35,0	28
X-HVB 110	35,0	28
X-HVB 125	37,5	30
X-HVB 140	37,5	30

Tabla 0-6: Resistencia característica y resistencia de cálculo de conectores tipo Hilti X-HVB

Fuente 20: (X-hvb, 2017)

Conclusiones

Se ha identificado tres tipos principales de conectores de corte, espárragos con cabeza, conectores tipo C y conectores perfobond. Los tres mecanismos tienen ecuaciones plenamente establecidas para determinar su resistencia y en particular los dos primeros, se encuentran normados en (AISC, 2010) y (Comité Europeo de Normalización, 2011). La resistencia de los conectores no depende exclusivamente de sus propiedades, también depende de las propiedades del hormigón colocado.

La resistencia de un conector tipo espárrago es considerablemente menor que la de un conector perfobond, se puede hablar de una relación 6:1. Comparando su resistencia con la de un conector tipo canal C es relativamente similar para longitudes L_c pequeñas, pero a medida que aumenta L_c se incrementa la resistencia y supera a la de un espárrago con cabeza.

La ductilidad de un espárrago con cabeza es considerablemente mayor que la de un conector PBL, en una relación similar a 5:1.

Los conectores tipo canal C3X4.1, C4X5.4 y C5X6.7 la resistencia es aproximadamente similar al de los conectores tipo perno de 1/2" y 5/8". Sin embargo, a medida que se incrementa el tamaño del conector tipo C, la resistencia será mayor que la de los espárragos, es decir, el tamaño del conector se puede ajustar para que la capacidad de fuerza horizontal requerida en la interfaz de hormigón de acero se pueda lograr con menos cantidad de conectores que los requeridos en caso de espárragos con cabeza.

La resistencia de los conectores perfobond y los de tiras oscilantes, es considerablemente mayor que la de los demás conectadores, pero con una ductilidad relativamente baja que limite su aplicación.

Los conectores con cabeza son los más comunes utilizados en elementos de flexión compuestas de acero y hormigón, principalmente debido a su proceso de instalación relativamente más rápido al usar un equipo de soldadura especial.

Los conectores con cabeza son muy usados en la construcción, esto debido al hecho de que su resistencia es la misma en todas las direcciones y que es fácil de fabricar mediante soldadura semiautomática a través de la lámina perforada. Sin embargo, esta ventaja no es reconocida por algunos contratistas, sobre todo en aquellos donde las condiciones atmosféricas son desfavorables.

Debido al comportamiento insatisfactorio de los pernos de corte como resultado de los problemas de fatiga causados por la tensión, se introdujeron los conectores perfobond. En esta línea se desarrollan conectores en T Perfobon, conectores oscilantes y conectores de onda, buscando dar un anclaje adicional al sistema y evitar una pérdida prematura de rigidez en la conexión.

Los conectores con tiras oscilantes buscan dar una mejor transferencia de fuerza entre el acero y el hormigón en comparación con un conector recto, en el caso de concreto de resistencia ordinaria y de peso normal, su rendimiento es un poco decepcionante.

Los conectores en forma de onda a pesar de buscar mejorar la transferencia de fuerza entre el acero y el hormigón circundante, su proceso constructivo puede ser complicado, debido a que es más difícil soldar usando un equipo convencional, llevando incluso a que la suelda no se desarrolle con éxito.

Los conectores en forma de T, en relación con lo demás conectores revisador en el presente documento, tienen la resistencia característica más alta y el modo de falla cambia para diferentes resistencias.

Para los conectores tipo canal, el tamaño del conector se puede ajustar para que la capacidad de fuerza horizontal requerida en la interfaz de hormigón de acero se pueda lograr con menos cantidad de conectores que los requeridos en caso de espárragos con cabeza.

Para los conectores de corte piramidales, se espera suficiente resistencia y rigidez a la flexión para las cargas durante y después de la construcción de una losa compuesta de placa de acero y hormigón.

La ventaja de los conectores de corte no soldados es que no necesita ningún tipo de soldadura y que permite fijar la chapa perfilada al soporte en una sola operación asegurando el enlace entre la viga de acero y la losa de hormigón. El comportamiento de estos conectores es dúctil y se asemeja al del conector a cortante con cabeza.

Los conectores tipo collar rectangular están compuestos por dos o más partes, a horcajadas sobre la viga de madera, atornilladas entre sí en las alas adyacentes. Entre el collar y la viga, se interpone una capa de caucho.

Para los conectores tipo T perfobond, conectores con tiras oscilantes, conectores en forma de onda, conectores en forma de T, conectores de corte piramidal, conectores no soldados, y conectores de collarin, no se identifica ecuaciones desarrolladas que permitan determinar la resistencia.

Los conectores tipo Hilti X-HVB son de fácil instalación y su resistencia es menor a la de los demás conectores revisados en el presente documento, , por ejemplo la resistencia de los conectores tipo cabeza es 3.5 veces mayor que la de los pernos Hilti.

En función de la presente revisión bibliográfica, es recomendable emplear en este orden, conectores tipo canal debido a que tienen ecuaciones plenamente desarrolladas para estimar la resistencia, su resistencia es alta, requieren menor número de conectores en relación con los espárragos de cabeza y se encuentran normadas en el (AISC, 2010). Luego, emplear los conectores tipo espárragos con cabeza, al igual que los anteriores tienen ecuaciones desarrolladas para estimar su resistencia mismas que están normadas en el (Comité Europeo de Normalización, 2011) y el (AISC, 2010). Su comportamiento es satisfactorio y el proceso de instalación es relativamente simple. Los conectores tipo perfobond a pesar de tener una ecuación desarrollada para estimar la resistencia y de su

buen comportamiento, no se identificó en las normas antes citadas. Los demás conectores están en estudio y no se identifican ecuaciones desarrolladas para estimar la resistencia, a pesar de que las pruebas arrojen resistencias altas.

Referencias bibliográficas

- 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 of Constructional Steel Research*, 66(10), 1295–1307. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2010.04.008>
- AISC. (2010). *Especificación ANSI / AISC 360-10 para Construcciones de Acero*.
- Ali Shariati. (2012). Various types of shear connectors in composite structures: A review. *International Journal of the Physical Sciences*, 7(22), 2876–2890. <https://doi.org/10.5897/ijpsx11.004>
- Baran, E., & Topkaya, C. (2014). Behavior of steel-concrete partially composite beams with channel type shear connectors. *Journal of Constructional Steel Research*, 97, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.01.017>
- Básico, D. (2006). SE-A. *Seguridad Estructural Acero*, 69.
- BSI. (1990). *BS 5950-3.1:1990 Structural use of steelwork in building. Design in composite construction. Code of practice for design of simple and continuous composite beams | Building CodeHub*. <https://codehub.building.govt.nz/resources/bs-5950-3-11990/>
- Comité Europeo de Normalización. (2011). Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón Parte 2: Reglas generales y reglas para puentes. *AENOR*, 2, 96.
- Crisinel, M. (1990). Partial-interaction analysis of composite beams with profiled sheeting and non-welded shear connectors. *Journal of Constructional Steel Research*, 15(1–2), 65–98. [https://doi.org/10.1016/0143-974X\(90\)90043-G](https://doi.org/10.1016/0143-974X(90)90043-G)
- Erazo Hernández, L. E. (2017). *Comportamiento de Conectores de Cortante Tipo Tornillo en Secciones Compuestas con Lámina Colaborante*. 324. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60142>
- Faggiano, B., Marzo, A., Mazzolani, F. M., & Calado, L. M. (2009). Analysis of rectangular-shaped collar connectors for composite timber-steel-concrete floors: Push-out tests. *Journal of Civil Engineering and Management*, 15(1), 47–58. <https://doi.org/10.3846/1392-3730.2009.15.47-58>
- Galjaard, H. (2001). Static tests on various types of shear connectors for composite structures-

- Connections between Steel and Concrete. *Inter. Symposium on Connections between Steel and Concrete, University of Stuttgart, Germany.*–RILEM Publications SARL, 1313–1322.
https://www.rilem.net/publication/publication/26?id_papier=1941
- Gelfi, P., Giuriani, E., & Marini, A. (2002). Stud Shear Connection Design for Composite Concrete Slab and Wood Beams. *Journal of Structural Engineering*, 128(12), 1544–1550.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2002\)128:12\(1544\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2002)128:12(1544))
- Hawkins, N. M., & Mitchell, D. (1984). Seismic Response of Composite Shear Connections. *Journal of Structural Engineering*, 110(9), 2120–2136. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1984\)110:9\(2120\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1984)110:9(2120))
- Lee, K.-D., & Han, J.-I. (1998). Fatigue behavior of composite beams with pyramidal shear connectors under repeated loading. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2(2), 119–128.
<https://doi.org/10.1007/bf02830485>
- Maleki, S., & Bagheri, S. (2008). Behavior of channel shear connectors, Part I: Experimental study. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(12), 1333–1340.
<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.01.010>
- Ollgaard, J. G.; Slutter, R. G.; Fisher, J. W. (1971). Shear strength of stud connectors in lightweight and normal weight concrete, AISC Eng'g Jr., April 1971 (71-10). *AISC Engineering Journal*, 1971(April 1971), 55–34.
- Pavlović, M., Marković, Z., Veljković, M., & Bucrossed D Signevac, D. (2013). Bolted shear connectors vs. headed studs behaviour in push-out tests. *Journal of Constructional Steel Research*, 88, 134–149. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.05.003>
- Rodera, A. (2004). *Design of Composite Beams Using Light Steel Sections*. 12, 50–52.
- Salmon G, C., Johnson E, J., & Malhas A, F. (2009). Principle Steel Structure Design and Behaviour emphasizing load and Resistance Factor Design. In *Pearson International* (p. 889).
- Shariati, M., Ramli Sulong, N. H., Suhatri, M., Shariati, A., Arabnejad Khanouki, M. M., & Sinaei, H. (2013). Comparison of behaviour between channel and angle shear connectors under monotonic and fully reversed cyclic loading. *Construction and Building Materials*, 38, 582–593.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.050>
- Shariati, M., Shariati, A., Ramli Sulong, N. H., Suhatri, M., & Arabnejad Khanouki, M. M. (2014). Fatigue energy dissipation and failure analysis of angle shear connectors embedded in high strength concrete. *Engineering Failure Analysis*, 41, 124–134.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.02.017>
- Vianna, J. da C., Costa-Neves, L. F., da, P. C. G., & de Andrade, S. A. L. (2009). Experimental

assessment of Perfobond and T-Perfobond shear connectors' structural response. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(2), 408–421. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.02.011>

Wang, Y. H., Yu, J., Liu, J. P., & Chen, Y. F. (2019). Shear behavior of shear stud groups in precast concrete decks. *Engineering Structures*, 187(March 2018), 73–84.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.02.002>

X-hvb, H. (2017). *HILTI X-HVB system Solutions for composite beams*.

Zhao, C., Li, Z., Deng, K., & Wang, W. (2018). Experimental investigation on the bearing mechanism of Perfobond rib shear connectors. *Engineering Structures*, 159(July 2021), 172–184.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.12.047>

Zúñiga, A. P. (2010). La Construcción Compuesta, Una Solución Viable Para La Rehabilitación De Edificaciones En Los Centros Históricos. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXI(1), 52–55.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior, tesis, proyecto, etc.