



Artículo de investigación

Análisis de conectores de corte tipo ángulo en vigas compuestas de acero y hormigón

Analysis of angle type shear connectors in steel and concrete composite beams

Luis Tinerfe Hernández Rodríguez , María José Cevallos López , Jorge André Mera Vera , Edwin Eduardo Guaminga Pillajo 

Escuela Politécnica Nacional, Centro de investigación de la Vivienda, Ladrón de Guevara E11-253, Quito, Ecuador

Autor de correspondencia: María José Cevallos López, Escuela Politécnica Nacional, Centro de investigación de la Vivienda, Ladrón de Guevara E11-253, Quito, Ecuador. E-mail: mjcevallos@gmail.com. ORCID: 0000-0001-6624-6917.

Enviado: 3 de Julio del 2023

Aceptado: 23 de Agosto del 2023

Publicado: 29 de Septiembre del 2023

Resumen. - Partiendo del hecho de que no se cuenta con una fórmula de cálculo normalizada para conectores tipo ángulo y que pueden ser usados en vigas compuestas de acero y hormigón, este trabajo tuvo como objetivo analizar la resistencia a corte de perfiles angulares de 3mm soldados verticalmente, con dos tipos de orientaciones diferentes. Para esto se elaboraron 14 probetas, 7 contenían conectores con orientación a 45° y otras 7 a 90°, dichas probetas fueron sometidas a ensayos push out obteniéndose datos de carga-deslizamiento los que fueron tratados estadísticamente para posteriormente ser usados en el análisis del comportamiento de los conectores. Se analizaron parámetros como la resistencia, ductilidad, rigidez y modos de falla, el modo de falla que predominó en todas las probetas fue el fraccionamiento en todo su ancho del hormigón; en cuanto a ductilidad, los conectores con orientación a 45° son considerados dúctiles según el Eurocódigo; además, la rigidez característica es mayor para los conectores con orientación a 90°; se comparó estos parámetros en ambos tipos de conectores y se concluyó que los que tenían una orientación de 90° tienen una mayor resistencia, por lo tanto, son los más idóneos para su uso en la construcción.

Palabras clave: Conector de corte; Ensayo push out; Estructuras compuestas.

Abstract. - Because there is no standardized calculation formula for angle-type connectors and they can be used in steel and concrete composite beams, this work aimed to analyze the shear resistance of 3mm vertically welded angle profiles with two different types of orientations. For this, 14 test specimens were made, 7 containing connectors with 45° orientations and another seven at 90°; these test specimens were subjected to push-out tests, obtaining load-slip data, which were treated statistically to be later used in behavior analysis of the connectors. Parameters such as strength, ductility, rigidity, and failure modes were analyzed. The failure mode that prevailed in all the test tubes was the fractionation in the entire width of the concrete; in terms of ductility, connectors with a 45° orientation are considered malleable according to the Eurocode. In addition, the characteristic stiffness is greater for connectors with a 90° orientation; These parameters were compared in both types of connectors, and it was concluded that those with a 90° orientation have higher resistance. Therefore, they are the most suitable for use in construction.

Keywords: Shear connector; Push-out test; Composite structures.

1. Introducción





La construcción compuesta emplea miembros estructurales formados por dos materiales: en este caso acero estructural y hormigón armado [1]. En los últimos años, estas estructuras compuestas han sido cada vez más utilizadas. Con el fin de aprovechar los beneficios de cada material, tanto en términos estructurales como constructivos, los elementos compuestos acero-hormigón son constituidos por la combinación de secciones de acero y elementos de hormigón.

La estructura compuesta de lámina de acero tipo deck y losa de hormigón se denomina losa compuesta y esta, unida mediante un conector de corte a la viga de acero, conforman la viga compuesta. Existen diversos tipos de conectores y los que están normados son los tipos perno (stud) y canal.

El sistema de piso más comúnmente usado en edificaciones de acero es una losa de concreto sobre una plataforma de metal [2].

La viga de acero es la que resiste los esfuerzos de tensión, y el hormigón de la losa compuesta trabaja ante los esfuerzos de compresión, así se aprovecha al máximo la capacidad de estos materiales. Los esfuerzos longitudinales que se producen entre el acero y el hormigón es necesario colocar conectores de corte que resistan estos esfuerzos y eviten la separación de la losa compuesta y la viga de acero [3].

La función principal de los conectores de corte es resistir los esfuerzos cortantes longitudinales a través de la superficie en que se da el contacto entre el acero y el hormigón, y evitar la separación vertical de la losa de hormigón de la viga de acero. Se ha demostrado que el conector de corte tipo ángulo es mejor en algunas de las propiedades mecánicas que otros tipos de conectores a cortante, incluida la alta transferencia de cortante, la resistencia al levantamiento, la suficiente ductilidad y la

resistencia a la degradación de la fuerza bajo carga cíclica [4].

Partiendo del hecho de que no se cuenta con una fórmula de cálculo normalizada para conectores tipo ángulo y que pueden ser fácilmente usados en vigas compuestas de acero y hormigón, en la Escuela Politécnica Nacional, en Quito, se han realizado varios estudios de conectores de corte tipo ángulo que han marcado un precedente para seguir esta línea de investigación mediante métodos experimentales y con el objetivo de obtener una base teórica comprobada y su resistencia a corte.

Existen diversos tipos de conectores de corte: tipo canal, tipo perno, tipo ángulo, etc. Para el presente estudio, se pretende analizar la resistencia a corte de los conectores tipo ángulo, ya que existe disponibilidad en el mercado nacional ecuatoriano y son más rentables representando una ventaja, comparado con los otros tipos de conectores.

2. Antecedentes

Existen varios tipos de conectores de corte que se diferencian por su geometría, la distribución de las fuerzas y su comportamiento que está en función de la resistencia a corte y deformación [4].

En el estudio realizado por Shariati et al. [5] en el año 2016 sobre los conectores de corte angulares en forma de V para un sistema compuesto de acero y hormigón. Se realizaron 14 pruebas Push-out en vigas compuestas con estos conectores bajo carga monotónica y cíclica. Se demostró que este conector de corte mejora algunas propiedades mecánicas de los conectores de corte, incluida la transferencia de alto corte, la resistencia al levantamiento, la ductilidad suficiente y la resistencia a la degradación de la fuerza bajo carga cíclica.



En el 2014, Shariati et al. [6] analizaron 4 tipos de probetas con conectores de corte tipo ángulo con diferente geometría, que fueron sometidas a carga monotónica y carga cíclica reversible mediante el método Push out obteniendo una ecuación que permite calcular la resistencia teórica del conector. Los resultados de modo de falla que se obtuvieron en este estudio son la falla del conector y la fisuración del hormigón.

La resistencia de los conectores también ha sido evaluada por Balasubramanian [7] en el año 2016 en estructuras compuestas de acero-concreto el cual analiza la resistencia a cortante de conectores tipo ángulo, utilizando la metodología Push out para obtener la resistencia y rigidez de los conectores de corte, aportando así con una ecuación para determinar su resistencia.

Para el año 2016 Shariati et al. [8] realiza el estudio de la comparación de los conectores de corte tipo canal y tipo ángulo con 8 tipos de probetas que utilizan 4 probetas tipo canal y 4 tipo ángulo, con dimensiones similares. La forma de ensayo se basa en el método Push out y concluyeron que con los conectores tipo ángulo se presentan menos fisuras y que los conectores tipo canal son más dúctiles y tienen mayor resistencia.

En el año 2020, Lee et al. [9] evaluaron la resistencia de conectores tipo ángulo en vigas compuestas con 8 probetas con diferentes dimensiones en altura, longitud del conector y espesor, usando para la aplicación de carga la metodología Push out, además obtuvieron una ecuación para los conectores que depende de los parámetros de análisis. De esta investigación concluyeron que tiene mayor impacto en la resistencia del conector el espesor del mismo, más que su longitud.

En el 2018 Bezerra et al, [10] compararon conectores de corte tipo perno con conectores de características similares al conector tipo V,

fabricados a partir de perfil de acero tipo U, en su análisis comparativo determinaron que este tipo de conectores distribuyen con mayor uniformidad los esfuerzos de corte al tener un área de contacto mayor.

En un estudio realizado por Shen et al. [11] en el 2020, se concluyó que el incremento en la resistencia del concreto no aumenta la resistencia a corte de los conectores tipo stud, pero la presencia de concreto alrededor del mismo contribuye al mejor desempeño ante acciones de corte del conector.

En el mismo año, Qureshi & Lam [12] estudiaron entre otros parámetros, los efectos del refuerzo longitudinal en mallas y la colocación de refuerzo en el valle de la deck, de lo cual concluyeron que la ubicación de la malla de refuerzo no interviene en la resistencia del conector de corte, además las ecuaciones del código AISC 360 16 sobreestiman la capacidad y el Eurocódigo 4 predice de manera correcta.

Al-kroom et al. [13], investigaron el comportamiento del conector de corte en forma de V. La evaluación del desempeño del conector propuesto se realiza a través de un trabajo experimental de catorce pruebas push out. Los resultados muestran que el conector de corte en forma de V desarrollado es capaz de transferir una carga de corte más alta que el conector de corte convencional.

Tahmasbi et al. [14], investigaron el comportamiento de conectores en forma de C y ángulo en forma de L embebidos en losas de hormigón. Se propone un modelo de elementos finitos efectivo para simular las pruebas de expulsión de estos conectores de corte que abarcan el comportamiento no lineal del material, el gran desplazamiento y la plasticidad de daños.

En 2019, se sugirió una solución interesante para usar conectores de corte en compuestos de



madera y hormigón, el cual consistía en una placa perforada insertada y encolada en una ranura de la viga de madera. Este estudio propuso algunas modificaciones variando la parte superior del conector con barras de acero. Los resultados de las pruebas mostraron un buen comportamiento de este sistema y se realizaron y validaron modelos usando el método de los elementos finitos (FEM) utilizando un coeficiente de fricción variable [15].

En 2020, se desarrolló un estudio sobre el desempeño de conectores pernos con diferentes ubicaciones y configuraciones en la lámina perfilada de acero. Se elaboró y validó un modelo FEM, que incluyó identificar y discutir diferentes mecanismos de transferencia de carga entre el hormigón y la chapa de acero perfilada para comprender las interacciones entre el perno y el hormigón [16].

3. Metodología

En la Escuela Politécnica Nacional se ha estudiado el conector ángulo para la unión de una losa de hormigón, con o sin deck, con una viga metálica en diferentes trabajos, así Franco et al. [17] investigaron el conector ángulo de 4 mm para el caso de losa de hormigón sin deck soldados verticalmente a 45° y 90° .

Ayala et al. [18] investigaron el conector ángulo de 4 y 6 mm para el caso de losa de hormigón sin deck y otras posiciones diferentes a las anteriores. De igual forma, Arévalo et al [19] realizaron estudios a partir de los ensayos anteriores obteniendo resultados favorables para este conector. Valenzuela et al. [20] investigaron el conector ángulo de 4 mm para el caso de losa de hormigón con deck soldados verticalmente a 45° y 90° .

Partiendo del hecho que en la investigación precedente de Valenzuela et al. [20] con el conector de 4 mm falló siempre el hormigón, se

realiza este nuevo trabajo con un espesor menor y que estuviera disponible en el mercado ecuatoriano, eligiéndose 3 mm. El objetivo era ver si un espesor menor fallaba el conector y no el hormigón.

La construcción de las probetas requeridas para los ensayos Push out, se basó en las normas nacionales e internacionales aplicables en el Ecuador como el Eurocódigo 4, [21] las cuales describen los parámetros y requerimientos de materiales para su correcta implementación en campo. El hormigón y el acero serán los materiales utilizados para construir los especímenes.

La viga metálica fue diseñada de forma que no fallara en el ensayo, ya que el objetivo era ver la capacidad resistente del conector, por lo que debía ser la conexión la que fallara. Para esto se consideró lo expuesto en AISC 360 [22], los criterios sismo resistentes de la AISC 341 [23] y las normas ecuatorianas para Estructuras de acero [24] y sismo resistente [25].

En investigaciones previas se ha evidenciado la consideración de parámetros como la longitud, espesor y ancho del conector, por lo que se tiene la necesidad de analizar otros parámetros que influyan en la resistencia de los conectores, tales como la orientación del conector para crear una base teórica que permita la implementación de estos conectores en obra.

Para ello, se elaboraron 14 probetas con conectores tipo ángulo de 3 milímetros de espesor, de las cuales 7 utilizan conectores tipo ángulo con una orientación de 45° (A) y 7 con conectores a 90° (L), realizando los ensayos Push out en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV).

Este método permite obtener curvas carga-deslizamiento para analizar el comportamiento de los conectores, obteniendo la carga



característica, ductilidad, rigidez característica, energía disipada y deslizamiento característico.

Como se muestra en las figuras 1 y 2, las probetas utilizadas en el análisis experimental constan de: una viga metálica tipo I 200x100x5 mm, la losa de hormigón con lámina deck de 0,65 milímetros de espesor y 55 mm de altura de sus nervaduras, malla electrosoldada de 4 milímetros @ 100 mm y los conectores de corte de 40x40x3 mm, uno a cada lado de la probeta, que unen la viga metálica a la losa.

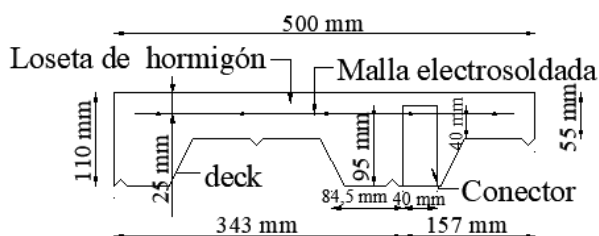


Figura 1. Sección transversal de la losa de la probeta.

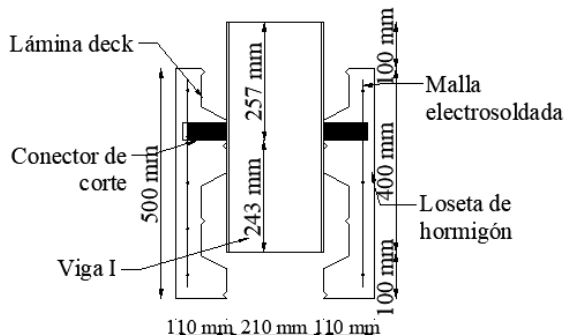


Figura 2. Diseño definitivo de la probeta de ensayo.

3.1 Hormigón

Los cálculos previos para la determinación de la resistencia de los conectores se realizaron con un hormigón de 35 MPa.

En la tabla 1 se muestra los resultados de ensayos experimentales del hormigón utilizado, realizados a partir de una muestra de 3 cilindros a los 28 días tal como se especifica en las normas NTE INEN 1573 [26] y ASTM C39/C39M-20 [27].

Además, el módulo de elasticidad del hormigón se obtiene de ensayos experimentales realizados con 3 muestras de cilindros a los 56 días basados en la norma ASTM C469-14 [28], y se obtuvo los datos de la tabla 1.

Tabla 1. Valores experimentales de las propiedades mecánicas del hormigón.

Denominación (Unidades)	Descripción	Valor
f'c (MPa)	Resistencia a la compresión del hormigón	37.3
Ec (MPa)	Módulo de Elasticidad del hormigón	26157.33

3.2 Acero

Las propiedades de los elementos de acero estructural de las probetas son obtenidas experimentalmente y aparecen en la tabla 2.

Tabla 2. Valores experimentales de las propiedades mecánicas del acero.

Denominación, (Unidades)	Descripción	Valor
VIGA DE ACERO		
Fy (MPa)	Límite de fluencia	245.93
Fut (MPa)	Resistencia a la tracción	407.47
CONECTOR DE CORTE		
Fy (MPa)	Límite de fluencia	354.03
Fut (MPa)	Resistencia a la tracción	471.57

3.3 Método push out

Según el Eurocódigo 4, para aplicar el ensayo Push out es necesario realizar previamente un ensayo monotónico para cada tipo de probeta, que consiste en aplicar carga hasta el nivel de fallo. El valor de carga última sirve para obtener el intervalo de carga en el que se ensayarán las probetas, considerando el 5% y 40% de esta. Primero, las probetas son cargadas hasta el 40% del valor de carga última y luego se reduce al 5% de esta, realizándose 25 ciclos en este intervalo. Posterior a ello, lo que sería el ciclo número 26,



se va incrementando la carga hasta la falla, lo que no debe suceder en menos de 15 minutos [21].

3.4 Instrumentación del ensayo

La instrumentación para el ensayo de las probetas se muestra en las figuras 3 y 4 y consiste en la máquina universal de ensayo, usada para aplicarle la carga; cinco Transductores diferenciales de variación lineal (LVDT), ubicados estratégicamente para obtener datos del desplazamiento lineal que se genera en los elementos que componen la probeta de ensayo, los LVDT 1 y 2 miden el desplazamiento de la viga, los LVDT 3 y 4 el desplazamiento de las losas de hormigón y el LVDT 5 el desplazamiento del alma de la viga en el centro.

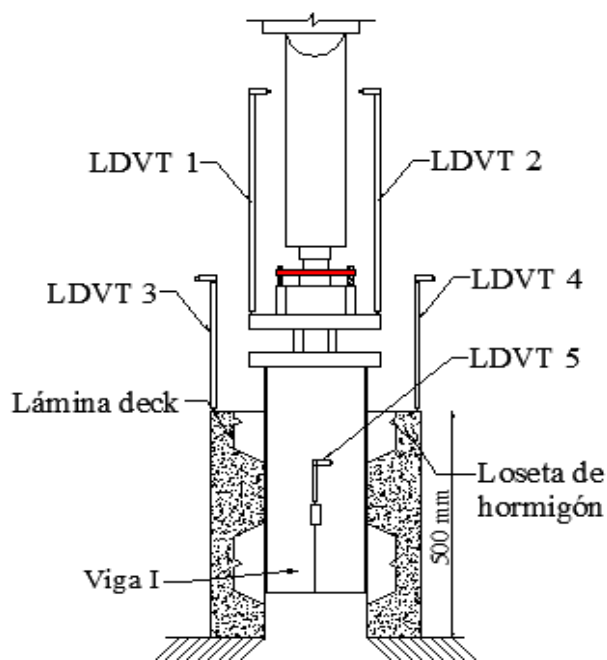


Figura 3. Esquema instrumentación de ensayo.



Figura 4. Máquina de ensayo del laboratorio.

3.5 Tratamiento estadístico

Con base en la norma ASTM E178-16 [29], se identifican los valores atípicos obtenidos en los ensayos experimentales para posteriormente realizar el tratamiento de datos con los valores que cumplen con lo estipulado en la norma. Los requerimientos de esta norma se aplican a los datos de carga última y deslizamiento de cada probeta que han sido obtenidos por el sistema de adquisición.

Además, según el Eurocódigo 4 [21] se analiza la carga última de las probetas para determinar la resistencia de diseño de estas, la cual depende de la resistencia característica (P_{RK}) que se define como el 90% de la carga última menor de todas las probetas, siempre y cuando un mínimo de tres probetas no difiera en el 10% con respecto a la media.



En este estudio, los valores que superan los límites no son considerados para cálculos posteriores.

3.6 Resistencia de diseño

En el Eurocódigo 4 se menciona que la resistencia de diseño (P_{Rd}) depende de la resistencia del acero, en tanto se dé la falla en el conector de corte, no obstante, para este estudio se observa que el modo de falla corresponde al hormigón, siendo necesario determinar la resistencia de diseño considerando los parámetros de la resistencia del hormigón.

La ecuación (1) [21] permite calcular los valores de P_{Rd} de cada probeta y se expondrán más adelante.

$$P_{Rd} = \frac{f'_{ck}}{f'_{cm}} \cdot \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \leq \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \quad (1)$$

Donde:

P_{Rk} : Resistencia característica.

f'_{ck} : Resistencia especificada del hormigón.

f'_{cm} : Resistencia promedio del hormigón obtenida a partir de los ensayos experimentales.

γ_V : es el factor de seguridad parcial para el conector de corte. El valor recomendado es de 1.25.

4. Resultados y Discusiones

4.1 Ensayo Monotónico

Los resultados del ensayo monotónico de cada tipo de probeta se muestran en la figura 5, evidenciándose que la probeta que posee el conector con orientación a 90° posee mayor capacidad de carga. Las probetas con orientación a 90° en este estudio se denominan tipo “L” y aquellas con orientación a 45° tipo “A”.

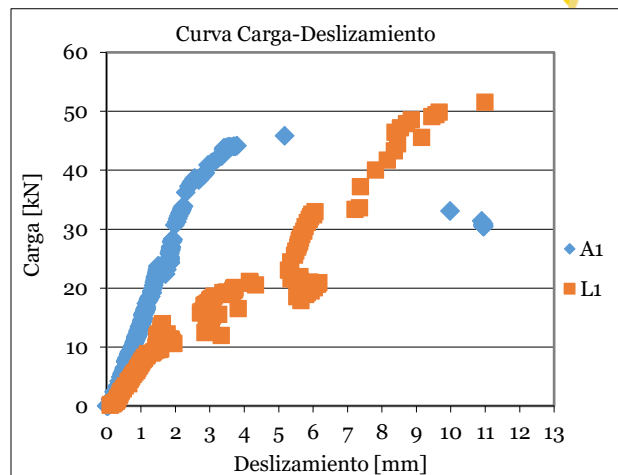


Figura 5. Curva carga-deslizamiento Ensayo Monotónico.

4.2 Ensayo Cíclico

Para empezar, se hace el tratamiento estadístico de las probetas tipo A de acuerdo con la ASTM E178-16 [29], lo que se presenta en la tabla 3, donde se descarta la probeta A6 por tener un valor fuera del rango permitido. Cabe recalcar que se utiliza el valor de carga total aplicada a la probeta.

Además, estas probetas son sometidas a un tratamiento estadístico dado por el Eurocódigo 4 [21], lo que se presenta en la tabla 4, en el cual se utiliza la carga última dividida entre dos por haber dos conectores en cada probeta, donde resultó que la probeta A2 no debería usarse para cálculos posteriores, ya que se encuentra fuera del límite.

Para las probetas tipo L se sigue el mismo tratamiento estadístico aplicado al tipo A, lo que se muestra en las tablas 5 y 6, donde se descartan las probetas L2 y L3, ya que se encuentran fuera del rango permitido que establece el Eurocódigo 4 [21].



Tabla 3. Análisis estadístico ASTM E178-16 para probetas tipo A – Carga última.

Probetas tipo A - Carga última			
Probeta	Pu kN	Tn	T 10% Nivel de significancia
A2	97,24	1,16	1,73
A3	86,34		
A4	81,93		
A5	87,78		
A6	58,88	1,83	1,73
A7	81,93		
Media	82,35		
Desviación estándar (s)	12,79		

Tabla 4. Análisis estadístico Eurocódigo 4 para probetas tipo A – Carga última.

Probetas tipo A – Carga última				
Probeta	Pu kN	Límite Superior kN	Límite Inferior kN	Condición
A2	48,62			No cumple
A3	43,17			Cumple
A4	40,97	47,87	39,17	Cumple
A5	43,89			Cumple
A7	40,97			Cumple
Media	43,52			

Tabla 5. Análisis estadístico ASTM E178-16 para probetas tipo L – Carga última.

Probetas tipo L - Carga última			
Probeta	Pu kN	Tn	T 10% Nivel de significancia
L2	87,90	1,30	1,73
L3	138,31	1,65	1,73
L4	106,58		
L5	102,75		
L6	119,40		
L7	105,83		
Media	110,13		
Desviación estándar (s)	17,09		

Tabla 6. Análisis estadístico Eurocódigo 4 para probetas tipo L – Carga última.

Probetas tipo L – Carga última				
Probeta	Pu kN	Límite Superior kN	Límite Inferior kN	Condición
L2	43,95			No cumple
L3	69,16			No cumple
L4	53,29	60,57	49,56	Cumple
L5	51,38			Cumple
L6	59,70			Cumple
L7	52,92			Cumple
Media	55,06			

En la figura 6 se muestran las curvas carga-deslizamiento de las probetas que contienen conectores de corte tipo ángulo a 45°. La carga mínima, P_u , corresponde a la probeta A4, el 90% de esta es la carga característica que se utiliza para cálculos posteriores de las probetas que contienen conectores a 45°. El análisis del comportamiento en los ensayos cíclicos sigue procedimientos similares a Deng et al. [30], considerando las curvas carga-deslizamiento obtenida después de 25 ciclos de carga y descarga.

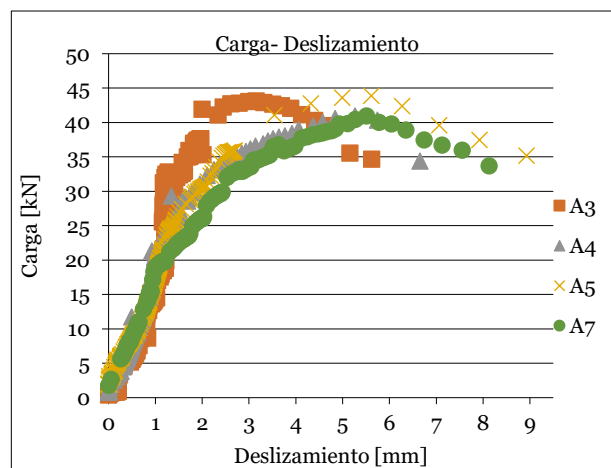


Figura 6. Curva carga-deslizamiento Probetas tipo A.

La figura 7 muestra las curvas carga-deslizamiento de las probetas que contienen conectores de corte tipo ángulo a 90°. La carga mínima, P_u , corresponde a la probeta L5.

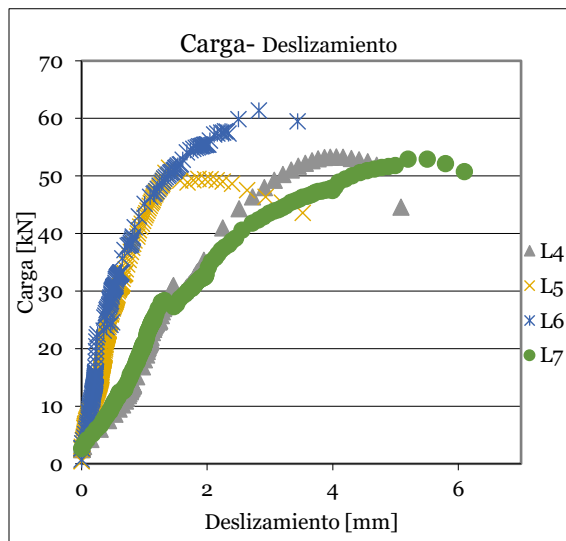


Figura 7. Curva carga-deslizamiento Probetas tipo L.

4.3 Resistencia característica

A partir de los datos de carga última obtenidos de los ensayos se determina la resistencia característica (P_{Rk}) para cada tipo de probeta como se muestra en la tabla 7 y se calcula mediante la ecuación (2), donde $P_{u\ min}$ es el menor valor de todos los P_u .

$$P_{Rk} = 0.9 \cdot P_{u\ min} \quad (2)$$

Tabla 7. Resistencia característica y de diseño.

Resistencia característica y de diseño			
Orientación de las probetas	$P_{u\ min}$ kN	P_{Rk} kN	P_{Rd} kN
90° (Tipo L)	51.38	46.24	34.71
45° (Tipo A)	40.97	36.87	27.68

4.4 Deslizamiento característico

El valor de capacidad de deslizamiento δ_u se determina mediante la curva carga-deslizamiento, como se representa en la figura 8, tomando el valor de deslizamiento al nivel de la carga característica P_{Rk} .

Luego, el valor de deslizamiento característico δ_{uk} es obtenido tomando el mínimo valor de capacidad de deslizamiento y aplicando una reducción del 10%. En las tablas 8 y 9 se presentan los valores obtenidos de Deslizamiento característico.

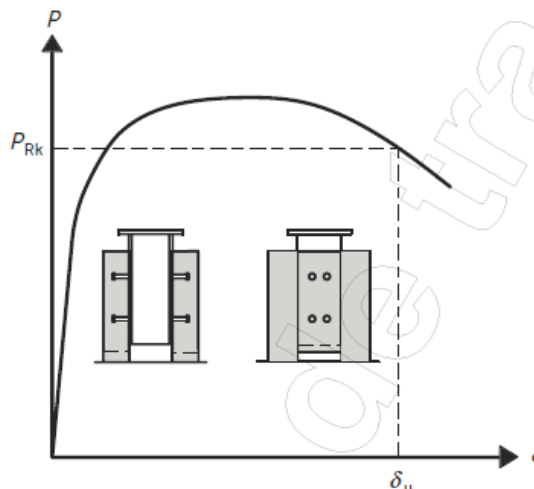


Figura 8. Determinación de la capacidad de deslizamiento [21].

Tabla 8. Deslizamiento característico – Probetas tipo A.

Probetas tipo A – Deslizamiento característico		
Probeta	δ_u mm	δ_{uk} mm
A3	7,74	
A4	7,73	
A5	10,65	6,96
A7	9,32	

Tabla 9. Deslizamiento característico – Probetas tipo L.

Probetas tipo L - Deslizamiento característico		
Probeta	δ_u mm	δ_{uk} mm
L4	5,46	
L5	4,9	
L6	4,74	4,27
L7	6,85	



4.5 Variación de la rigidez

La rigidez depende de la carga y el deslizamiento correspondiente a esa carga.

Se puede evidenciar que existe una disminución abrupta de la rigidez desde el primer milímetro de deslizamiento y sigue disminuyendo de forma progresiva hasta la falla de la probeta, como se muestra en las figuras 9 y 10.

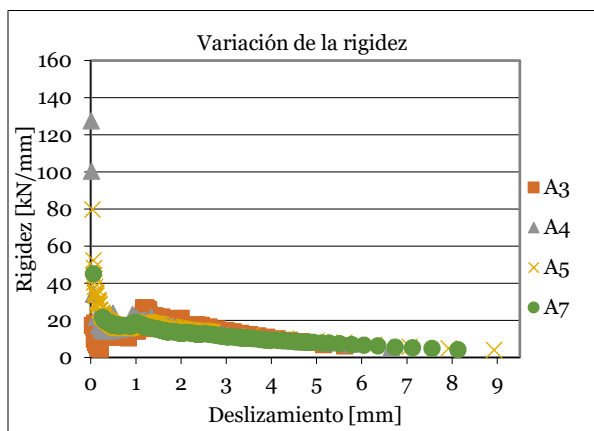


Figura 9. Variación de la rigidez-Probetas tipo A.

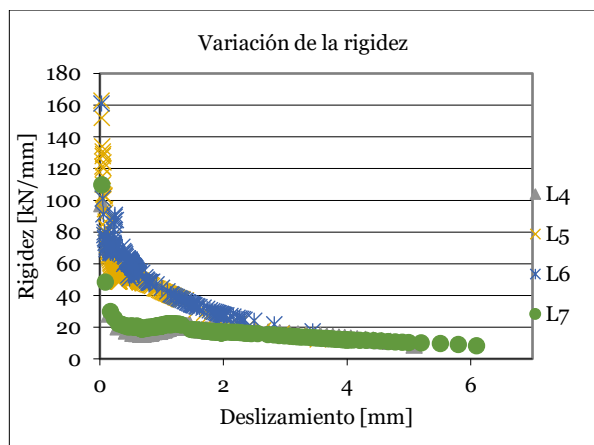


Figura 10. Variación de la rigidez-Probetas tipo L.

4.6 Rigidez Característica

Con base en el Eurocódigo [21], la rigidez característica se determina con la ecuación (3), que depende de la resistencia característica antes

calculada para cada tipo de probeta. En las tablas 10 y 11 se presentan los valores obtenidos de esta.

$$k_{sc} = \frac{0.7 \cdot P_{Rk}}{s} \quad (3)$$

Donde:

k_{sc} : Rigidez de un conector de corte.

P_{Rk} : Resistencia característica del conector de corte.

s : Es el deslizamiento calculado a partir de los ensayos de cizallamiento de acuerdo con el Anexo B del Eurocódigo 4 [21] para una carga de $0.7 \cdot P_{Rk}$.

Tabla 10. Rigidez característica – Probetas tipo A.

Probeta	P_{Rk} kN	$0.7 \cdot P_{Rk}$ kN	$\delta 0.7 \cdot P_{Rk}$ mm	k_{sc} kN.mm
A3			1,16	22,25
A4	36,87	25,81	1,38	18,70
A5			1,44	17,92
A7			1,93	13,37
Media			1,48	18,06

Tabla 11. Rigidez característica – Probetas tipo L.

Probeta	P_{Rk} kN	$0.7 \cdot P_{Rk}$ kN	$\delta 0.7 \cdot P_{Rk}$ mm	k_{sc} kN.mm
L4			1,79	18,08
L5	46,24	32,37	0,66	49,04
L6			0,56	57,80
L7			1,95	16,60
Media			1,24	35,38

4.7 Ductilidad

La ductilidad se define como la relación entre el deslizamiento máximo y el desplazamiento elástico. Y según la ASCE 41-17 [31], se puede clasificar como baja, moderada o alta, según el rango en que se encuentra el valor de ductilidad como se indica en la tabla 12.



Tabla 12. Demanda ductilidad según ASCE 41-17.

μ	Demanda de ductilidad
< 2	Baja
2 a 4	Moderada
> 4	Alta

La ductilidad se determina a partir de la curva carga-deslizamiento, la cual es previamente simplificada utilizando una bilinealización; de dicha simplificación y siguiendo los criterios de Kim et al. [32] se obtiene el deslizamiento último (Δ_u) y el deslizamiento de fluencia (Δ_y), como se muestra en la figura 11, siendo el factor de ductilidad, μ , la relación entre dichos deslizamientos, como se indica en la ecuación (4). Los valores obtenidos de factor de ductilidad se exponen en las tablas 13 y 14.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (4)$$

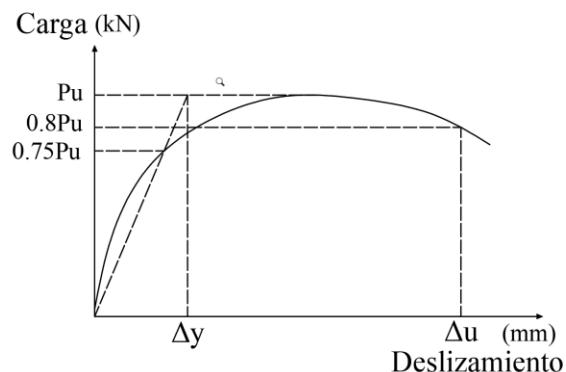


Figura 11. Determinación del desplazamiento último y de fluencia [32].

Tabla 13. Factor de ductilidad – Probetas tipo A.

Probetas tipo A - Factor de ductilidad			
Probeta	Δ_y	Δ_u	μ
A3	2,02	5,62	2,78
A4	2,55	7,04	2,76
A5	3,00	8,93	2,98
A7	3,29	8,49	2,58
Promedio	2,72	7,52	2,78

Tabla 14. Factor de ductilidad – Probetas tipo L.

Probetas tipo L - Factor de ductilidad			
Probeta	Δ_y	Δ_u	μ
L4	2,93	5,24	1,79
L5	1,11	3,67	3,31
L6	1,42	4,13	2,91
L7	3,32	6,68	2,01
Promedio	2,20	4,93	2,50

4.8 Modos de falla

El análisis del modo de falla se hace una vez se han realizado todos los ensayos de las probetas. Se observó un fraccionamiento del hormigón en todo el ancho de la probeta en todos los especímenes, como se evidencia en las figuras 12 y 13.

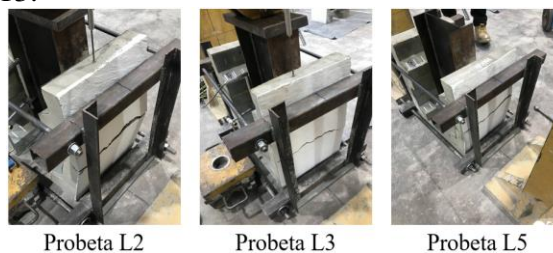


Figura 12. Modo de falla Probetas tipo L.



Figura 13. Modo de falla Probetas tipo A.

Según Guezoulli & Lachal [33], exponen que este fraccionamiento del hormigón es algo crítico, porque no permite que fallen los conectores de corte antes que el hormigón y, por tanto, no permite el análisis directo del comportamiento de dichos conectores.



Qi et al. [34] hicieron un estudio innovador, donde intentaron demostrar cómo el daño inicial (fatiga, corrosión, defecto de soldadura, entre otros) podría afectar la capacidad de corte en los conectores. Se realizaron seis variaciones cambiando porcentaje de daño y posición y manteniendo las mismas dimensiones, realizándose un modelo FEM y lo validaron. Finalmente propusieron un estudio paramétrico para conocer la influencia del grado y posición del daño en la capacidad de corte. Se demostró que la capacidad de corte no fue sensible al grado de daño cuando la sección de daño se ubicó a $0.5d$, donde d es el diámetro del vástago, desde la raíz del perno. Para comparar sus resultados,

5. Conclusiones

1. Existe una diferencia porcentual del 22.2% entre la resistencia última obtenida para los conectores orientados a 90° y aquellos con orientación de 45° , siendo los conectores de 90° los que resisten mayor carga. Además, el valor de resistencia última obtenido de forma experimental para las probetas de 90° comparado con el valor dado por la ecuación del AISC360 muestra una diferencia porcentual del 33.5% y 48.3% para las probetas de 45° .
2. El fisuramiento del hormigón fue la falla común en todas las probetas y se debe al par de fuerzas que se desarrolla en el nervio que contiene al conector, esto provoca una rotación en la probeta y se genera un esfuerzo de tensión en la cara de la losa de hormigón, llegando así la probeta a la falla. Las fisuras en el hormigón aparecen en el primer ciclo de carga, cuando la carga está entre el 30% y 40% de la carga máxima del ensayo.
3. La orientación influye en la rigidez, evidenciándose que los conectores de 90° presentan mayores valores de rigidez característica comparados con los de 45° , siendo 49.0% la diferencia porcentual entre dichos valores. Además, se da una degradación súbita de la rigidez en los primeros deslizamientos.

utilizaron el Eurocódigo 4, AASHTO LRFD y GB50017.

El modo de falla ocurrido por fraccionamiento del hormigón, es común en este tipo de vigas con láminas deck debido al poco espesor del hormigón sobre la cresta, por lo que se puede validar los resultados de los ensayos realizados. El trabajo del conector está garantizado, pues une la viga con la losa de hormigón, lográndose una viga mixta. Solo al momento de fallar, por llegarse a la carga máxima, deja de trabajar la conexión

4. Los conectores con orientación a 45° son dúctiles, de acuerdo con la condición del Eurocódigo 4, ya que su deslizamiento característico es mayor a 6mm. Adicionalmente, ambos tipos de conectores se encuentran en el rango de moderadamente dúctiles de la tabla de demanda de ductilidad, expuesta en la ASCE 41-17.
5. Después del análisis de cada uno de los parámetros que influyen en la resistencia de conectores de corte, se concluye que aquellos con orientación a 90° son los más idóneos para usarlos en la construcción ya que presentan una mayor resistencia en comparación con los de 45° .

6. Agradecimientos

A la Escuela Politécnica Nacional, y de manera especial al Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) y al Laboratorio de Soldadura.

7.- Reconocimiento de autoría

María José Cevallos López: Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, recursos, curación de datos, escritura- borrador original, escritura: revisión y edición, visualización, adquisición de fondos.
Jorge André Mera Vera: Conceptualización,



metodología, validación, análisis formal, investigación, recursos, curación de datos, escritura- borrador original, escritura: revisión y edición, visualización, adquisición de fondos. *Luis Tinerfe Hernández Rodríguez*: Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, recursos, curación de datos, escritura- borrador original, escritura: revisión y edición, visualización, supervisión, administración del proyecto. *Edwin Eduardo Guaminga Pillajo*: Metodología, validación, análisis formal, investigación, recursos, curación de datos, escritura- borrador original, escritura: revisión y edición, visualización, supervisión.

Referencias

- [1] W. Segui, "*Steel Design*", 6th Edition, Boston, USA, Ed. Cengage Learning, pp. 591, 2018.
- [2] A. Aghayere and J. Vigil, "*Structural Steel Design*", Third Edition, Virginia, Ed. Mercury Learning and Information, pp. 407, 2020.
- [3] M. Castañeda, B. Vera, L. Hernández, D. Arevalo, G. Velastegui and E. Guaminga, "Experimental study of angle-type shear connectors welded to steel beams and embedded in reinforced concrete slabs", VIII International Congress of Engineering, Science and Technology, Panamá 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10040874>. <https://doi.org/10.1109/IESTEC54539.2022.00027>
- [4] S. Shahabi, H. Ramlim Sulong, M. Shariati, M. Mohammadhassani y S. Shah, "Numerical analysis of channel connectors under fire and a comparison of performance with different types of shear connectors subjected to fire" *Rev. Steel and Composite Structures*, vol. 20, no. 3, pp. 651-699, 2016. <https://doi.org/10.12989/scs.2016.20.3.651>
- [5] M. Shariati, N.H. Ramli Sulong, A. Shariati and M.A. Khanouki, "Behavior of V-shaped angle shear connectors: experimental and parametric study", *Rev. Materials and Structures*. vol. 49, pp. 3909–3926, 2016. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0762-8>.
- [6] A. Shariati, M. Shariati, N.H. Ramli Sulong, M. Suhatri, M.M. Arabnejad Khanouki and M. Mahoutian, "Experimental assessment of angle shear connectors under monotonic and fully reversed cyclic loading in high strength concrete", *Rev. Construction and Building Materials*. vol. 52, pp. 276–283, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.036>.
- [7] R. Balasubramanian and B. Rajaram, "Study on behaviour of angle shear connector in steel-concrete composite structures", *Rev. International Journal of Steel Structures*. vol. 16, pp. 807–811, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13296-015-0094-0>.
- [8] M. Shariati, N.H. Ramli Sulong, A. Shariati and A.B.H. Kueh, "Comparative performance of channel and angle shear connectors in high strength concrete composites: An experimental study", *Rev. Construction and Building Materials*, vol. 120 pp. 382–392, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.102>.
- [9] J.S. Lee, K.J. Shin, H. Du Lee and J.H. Woo, "Strength Evaluation of Angle Type Shear Connectors in Composite Beams", *Rev. International Journal of Steel Structures* vol. 20, pp. 2068–2075, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00433-2>.
- [10] L. Bezerra, O. Cavalcante, L. Chater and J. Bonilla, "V-shaped shear connector for composite steel-concrete beam". *Rev. Journal of Constructional Steel Research*, vol. 150, pp. 162–174, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.07.016>
- [11] M. H Shen, K. F Chung, A. Y. Elghazouli and J. Z Tong, "Structural behavior of stud shear connections in composite floors with various connector arrangements and profiled deck configurations", *Rev. Engineering Structures*, vol. 210, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110370>
- [12] J. Qureshi and D. Lam, "Experimental investigation of shear connector behavior in composite beams with metal decking". *Rev. Steel and Composite Structures*, vol. 35 no. 4, pp. 475–494, 2020. <https://doi.org/10.12989/scs.2020.35.4.475>
- [13] H. Al-kroom, M. Thneibat, Y. Alghrir and V. Schmid, "An experimental investigation of new bent V-shaped shear connector", *Rev. Latin American Journal of Solids and Structures*, vol. 18, no. 5, pp. 1-18, 2021, doi: <https://doi.org/10.1590/1679-78256438>.
- [14] F. Tahmasbi, M. Shervin, M. Shariati, and N. H. Ramli Sulong and M. M. Tahir, "Shear Capacity of C-Shaped and L-Shaped Angle Shear Connectors", *Rev. PLOS ONE*, vol.



11, no. 8, pp. 1-19, 2016, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156989>

[15] F. Suárez-Riestra, J. Estévez-Cimadevila, E. Martín-Gutierrez, and D. Otero-Chans, "Perforated shear + reinforcement bar connectors in a timber-concrete composite solution. Analytical and numerical approach," *Rev. Composites Part B: Engineering*, vol. 156, pp. 138–147, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.074>.

[16] M. hui Shen, K. F. Chung, A. Y. Elghazouli, and J. Z. Tong, "Structural behaviour of stud shear connections in composite floors with various connector arrangements and profiled deck configurations," *Rev. Engineering Structures*, vol. 210, May 2020, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110370>.

[17] J. Franco, M. Martínez, L. Hernández, D. Arévalo, M. Herrera and C. Gómez, "Análisis de la Resistencia a Corte de Conectores Tipo Ángulo en Losas de Hormigón Armado sobre Estructura Metálica", *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. Vol. 45, no. 1, pp. 36-47, enero - abril, 2022. <https://doi.org/10.22209/rt.v45n1a04>

[18] D. Ayala, C. Chicaiza, L. Hernández; G. Velástegui and R. Baquero, "Comparación del comportamiento entre conectores de corte angulares de diferentes espesores bajo cargas monotónicas y cíclicas", *Rev. Gaceta Técnica*, vol. 22, no. 2, pp. 3-22, julio-diciembre, 2021. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18659.27684>

[19] D. Arévalo, L. Hernández, C. Gómez, G. Velasteguí, E. Guaminga, R. Baquero and R. Dibujés, "Structural performance of steel angle shear connectors with different orientation". *Rev. Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, pp. 1–20, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00523>

[20] H. Valenzuela; F. Velasco; L. Hernández and E. Guaminga, "Estudio experimental de conectores de corte tipo ángulo en posición I y V embebidos en losas compuestas con lámina metálica colaborante", *Rev. Gaceta Técnica*, vol. 23, no.2, pp. 70-87, julio-diciembre, 2022 <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica232.6>

[21] European Committee for Standardization, UNE-EN-1994., Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios, Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), 2013

[22] American Institute of Steel Construction AISC,

"Specification for Structural Steel Buildings" ANSI/AISC 360-22, United States of America, AISC, 2022.

[23] American Institute of Steel Construction AISC, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings" ANSI/AISC 341-22, United States of America, AISC, 2022.

[24] Ecuadorian Construction Standard NEC, "Estructuras de Acero" NEC-SE-AC, Ecuador, MIDUVI, 2023

[25] Ecuadorian Construction Standard NEC, Seismic Loads Seismic Design NEC-SE-DS, Ecuador, MIDUVI, 2023.

[26] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico", NTE INEN 1573, Ecuador, 2020.

[27] American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", C39/C39M-20, United States of America, ASTM, 2021.

[28] American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression", C469/C469M - 14, United States of America, ASTM, 2014

[29] American Society for Testing and Materials, "Standard Practice for Dealing with Outlying Observations", United States of America, ASTM, 2018.

[30] W. Deng, Y. Xiong, D. Liu y J. Zhang, "Static and fatigue behavior of shear connectors for a steel-concrete composite girder", *Rev. Journal of Constructional Steel Research*, vol. 159, pp. 134-146, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.04.031>.

[31] American Society of Civil Engineers, "Structural Engineering Institute, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings", United States of America, ASCE 41, 2017.

[32] K. S Kim, O. Han, J. Choi, and S. H. Kim, "Hysteretic performance of stubby Y-type perfobond rib shear connectors depending on transverse rebar". *Rev. Construction and Building Materials*, vol. 200, pp. 64–79, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.070>

[33] S. Guezouli, A. Lachal, Numerical analysis of frictional contact effects in push-out tests, *Rev. Engineering Structures*, vol. 40, pp 39-50, 2012.



<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.02.025>

<https://doi.org/10.12989/scs.2017.25.1.079>

[34] J. Qi, J. Wang, M. Li, and L. Chen, “Shear capacity of stud shear connectors with initial damage: Experiment, FEM model and theoretical formulation”, *Rev. Steel and Composite Structures*, vol. 25, no. 1, pp. 79–92, 2017,

Derechos de Autor (c) 2023 Luis Tinerfe Hernández Rodríguez, María José Cevallos López, Jorge André Mera Vera, Edwin Eduardo Guaminga Pillajo



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)