

COMPARACIÓN DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO ESPIGO CON CABEZA CON TIPO PERNO SOBRE TABLERO METÁLICO.

Comparison of stud shear-connectors with screw shear-connectors on steel deck

Carlos Hernán Guzmán Varón¹, Luis Garza Vasquez².

¹Ingeniero Civil, estudiante Maestría en Ingeniería Civil, convenio EAFIT-UNIQUINDIO.
karloshguzman@gmail.com

²Ingeniero Civil, profesor Universidad Nacional de Colombia, seccional Medellín. lgarza@unal.edu.co
Recibido: _____ Revisado: _____ Aceptado: _____

Abstract

This research aims to compare the capacity of shear-type connectors pin (stud) head with the connectors on shear pin type; in slab of concrete poured over steel deck, which together with steel beam, form, composite section. This comparison was done given the results obtained by the direct cut and push out tests, conducted. These consisted of two plates of concrete poured over steel deck, linked by a steel profile, achieving a symmetrical specimen. Shear connectors, welded to the axis of the wing of the profile were used to perform the fixation listed. All in weak position. We used three specimen with connector pin head and three specimen with connector pin type. Load versus displacement graphs were developed. The average capacity was determined by each group of connector type. The quotient between the average capacity of the type connector pin head and the average capacity of the connector pin type was obtained, resulting in a 4% variation, so it is concluded that it is equivalent to using one or the other.

Keywords: Test push out; Section composite; shear-connector comparison; metal mezzanine.

Resumen

La presente investigación tiene como propósito comparar la capacidad última de conectores de cortante tipo espigo con cabeza (stud) con los conectores de cortante tipo perno, en losa de concreto vaciado sobre tablero metálico, los cuales junto con la viga de acero conforman sección compuesta. Dicha comparación se realizó a partir de los resultados obtenidos de las pruebas de corte directo, push out, realizadas a probetas. Estas consistieron en dos placas de concreto vaciado sobre tablero metálico, unidas mediante un perfil de acero, logrando una probeta simétrica. Para realizar la fijación de los elementos indicados se utilizaron conectores de cortante, soldados al eje del ala del perfil. Todos en posición débil. Se utilizaron tres probetas con conector tipo espigo con cabeza y tres probetas con conector tipo perno. Se elaboraron gráficas de carga versus desplazamiento. Se determinó la capacidad promedio por cada grupo de tipo de conector. Se obtiene el cociente entre la capacidad promedio del conector tipo espigo sobre la capacidad promedio del conector tipo perno, dando como resultado una variación del 4 %, por lo que se concluye que es equivalente usar el uno o el otro.

Palabras claves: Ensayo push out; Sección compuesta; Comparación conector cortante; tablero metálico.

1. Introducción

Actualmente en Colombia se están utilizando conectores tipo perno soldado en losa tipo Steel Deck, aunque NSR-10[17], establece claramente que sólo es permitida su utilización en losas macizas. Se revisaron documentos tales como, (Ollgaard, J. G., et al. [14]), donde se establecen procedimientos estadísticos que muestran variaciones hasta del 40% en los resultados que utilizaban diferentes organizaciones de investigación y construcción a

finales de los sesenta y comienzos de los setentas. Para resolver esta situación, realizó ensayos tipo push-out, bajo las mismas condiciones controladas. A partir de éstos define conceptos y presenta recomendaciones de diseño para el conector de cortante tipo espigo con cabeza. Posteriormente, (Grant, Jr. John A. 1977 et al. [7][8]), presenta una investigación donde se consideran factores tales como la dirección de la onda del tablero metálico, si

va paralela o perpendicular a la viga, y el espesor de la losa de concreto sobre el tablero metálico. Estableció que la capacidad del conector se afecta por los elementos geométricos del tablero metálico, su relación con la viga y el espesor de la losa de concreto, con lo cual definió factores de reducción de la capacidad del conector que ayudan a estimar de manera más realista la capacidad última del conector de cortante. En 1986, (Vinnakota, et al.[19]), presenta el método LRFD, Load and Resistance Factor Design, aplicado a losas de sección compuesta. Presenta ábacos de diseño y ejemplos de aplicación. En la década de los noventa, (Easterling, S, et al.[5]), determinó que se había estado trabajando la capacidad de los conectores sin considerar la posición de éste respecto al ancho del fondo de la vigueta o valle del tablero metálico, particularmente si ésta presenta un abultamiento en su eje. Dicho abultamiento obstruye la colocación del conector en el centro, y genera una posición excéntrica que afecta la capacidad última del conector. Establece el concepto de posición débil y posición fuerte del conector. Define la metodología para estimar la capacidad última según el caso de posición. Se revisó investigaciones más recientes, tales como, Pavlović [16], quien estudió conectores de cortante tipo perno, pero atornillados a la aleta del perfil, utilizando losa maciza en concreto; (Pathirana, S. W., et al. [15]) Consideró conectores de cortante tipo espigas, soldados pero la losa es prefabricada (no tipo steel deck) y con perforaciones para introducir los conectores; (Xu, C., Sugiura, et al,[20]), estudió grupo de conectores a distancia mínima, según las especificaciones de diseño ASSHTO 2012, aplicado a puentes. Utilizó losas prefabricadas pretensadas y una relación longitud a diámetro del conector de 6.2; (Han, Q.,et al.,[9]) Consideró el estudio del conector de cortante en viga de sección compuesta cuya losa está previamente fisurada y por otra parte el concreto, es un concreto elástico, el cual por primera vez es considerado en vigas de sección compuesta. (Concreto elástico es un concreto convencional adicionado con un porcentaje de caucho o fibras sintéticas); (Shim, CS.,et al.,[18]) La investigación trata del estudio de vigas de sección compuesta utilizando conectores largos y diámetros grandes. Esto aplicable a puentes. La utilización de conectores de mayores diámetros y longitudes son variables muy diferentes a las consideradas por NSR-10; (Lam, D., et. Al, [11]) en su investigación utilizó losa de concreto vinculada a la viga de acero mediante conectores de cortante tipo esparrago con cabeza. Realiza pruebas obteniendo la capacidad de los conectores con el objetivo de validar un modelo matemático; (Bonilla R. et. Al. [3]) realiza pruebas de conectores tipo perno en vigas de sección compuesta con losa concreto sobre cubierta metálica.

Posteriormente calibra, con base en los resultados de la prueba, un modelo matemático que le permite predecir del comportamiento de probetas similares; (Día, X H. et. Al. [4]) presenta un estudio de pruebas donde se comparan conectores pernados a la viga (y después de las pruebas son removidos) con conectores soldados al patín de la viga. Pretende a futuro poder reemplazar los conectores soldados por los pernados y removibles.

Respecto a las investigaciones nacionales, la realizada por (García y Molina, [6].), en 2008, época en la cual se aplicaba la NSR-98 [13], determina el deslizamiento entre placa de concreto y el perfil de acero que la soporta. Con este factor determinan la capacidad del conector y las relaciones geométricas reales de momento de inercia y momento estático de la sección compuesta, así como los tipos de falla. Determinan el comportamiento elástico y plástico de los elementos, así como las deflexiones en cada uno de los estados mencionados. (Molina y Hurtado [12].), realizan una investigación del comportamiento de conectores tipo perno embebido en losa maciza. Determinan el procedimiento para calcular la capacidad última y los resultados de dicha investigación fueron incluidos en la NSR-10. En (Hurtado et al. [10].) se establece un modelo computacional que permite predecir el comportamiento de losa maciza en sección compuesta, utilizando conectores de 1/2", 5/8" y 3/4" y diversas separaciones entre ellos. Determinan condiciones de falla, según separación y diámetro de conector.

Encontramos que investigaciones de viga de sección compuesta con losa en concreto vaciadas sobre cubierta metálica, ancladas a viga de acero, mediante pernos soldados, presenta debilidades, por lo cual se considera de interés realizar la presente investigación, consistente en comparar la capacidad del conector de cortante tipo esparrago con cabeza (stud) con la capacidad del conector tipo perno, en losa de concreto vaciado sobre cubierta metálica conformando sección compuesta con perfil de acero.

Para la realización de los ensayos se utilizó probetas idénticas. Unas con conector de cortante tipo esparrago con cabeza y otras con conector de cortante tipo perno. Todos los conectores en posición débil. Dichas probetas fueron ensayadas, bajo las mismas condiciones, a cortante puro, push out, mediante una prensa universal. Los resultados obtenidos se tabularon y graficaron. Para cada caso se obtuvo la carga promedio y éstas se compararon. En esta investigación se consideró que una variación hasta del orden de + - 8% se considera válida para establecer que las capacidades de los conectores son equivalente, en razón que se observó que la

dispersión de las curvas carga deslizamiento de diversos estudios consultados presentan la tendencia de ese orden.

Para realizar ensayos de capacidad de conectores de cortante en vigas de sección compuesta se observaron dos tipos de ensayos. El de la viga propiamente dicha, la cual requiere equipos de ensayos y controles costosos y especializados. El otro tipo de ensayo corresponde al de corte directo, push out, donde se requieren construir probetas, tramo de viga de sección compuesta, lo cual requiere infraestructura menos costosa y los procesos y métodos de ensayo y control son viables en el país, razón por la cual se optó en esta investigación por esta última opción.

3. Metodología para evaluar la capacidad teórica del conector.

3.1 Calculo teórico de la capacidad del conector.

Se utilizarán las formulas F.2.9.8.2.1 y F.2.9.8.2.2 de NSR-10, para calibrar las curvas teóricas de las figuras 1 a la figura 5. Para mayor claridad se transcriben dichas formulas.

“F.2.9.8.2.1-Resistencia de los conectores de acero tipo espigo con cabeza. La resistencia nominal de un conector de acero tipo espigo con cabeza embebido en una losa de concreto maciza o vaciada sobre un tablero metálico se tomará como:

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u \quad (F.2.9.8-1)$$

Donde:

A_{sc} = área de la sección transversal del conector de espigo, mm^2

f'_c = resistencia especificada a compresión del concreto, MPa

E_c = modulo de elasticidad del concreto = $0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$, MPa

F_u = resistencia a tensión mínima especificada de los conectores tipo espigo con cabeza, MPa

$R_g = 1.0$

- Un conector de acero tipo espigo con cabeza soldado en una nervadura de tablero metálico, con las nervaduras orientadas perpendicularmente al perfil de acero.
- Cualquier numero de conectores de acero tipo espigo con cabeza soldados en una hilera directamente al perfil de acero.
- Cualquier numero de conectores de acero tipo espigo con cabeza soldados en una

hilera a través del tablero metálico, con las nervaduras paralelas al perfil de acero y la relación entre el ancho promedio y el peralte de la nervadura $> = 1.5$

$R_g = 0.85$ para:

- Dos conectores de acero tipo espigo con cabeza soldados en una nervadura del tablero metálico, con las nervaduras orientadas perpendicularmente al perfil de acero.
- Un conector tipo espigo de acero con cabeza soldados a través del tablero metálico, con las nervaduras paralelas al perfil de acero y la relación entre el ancho promedio y el peralte de la nervadura < 1.5 .

$R_g = 0.75$ para:

- Conectores de acero tipo espigo con cabeza soldados directamente al perfil de acero;
- Conectores de acero tipo espigo con cabeza soldados en una losa compuesta con el tablero metálico orientado perpendicularmente a la viga y $e_{mid-ht} > = 50mm$
- Conectores de acero tipo espigo con cabeza embebidos en una losa compuesta con el tablero metálico orientado paralelamente a la viga, soldados a través del tablero metálico, o a través de una lámina usada como ajuste entre el tablero metálico y la aleta de la viga.

$R_g = 0.6$ para conectores de acero tipo espigo soldados en una losa compuesta con el tablero metálico orientado perpendicularmente a la viga y $e_{mid-ht} > = 50 mm$.

e_{mid-ht} = distancia entre el borde del vastago del espigo y el alma del tablero metálico, tomada a la mitad de la profundidad de la nervadura y en dirección de la fuerza ejercida por el conector (es decir, en dirección al momento máximo para una viga simplemente apoyada), mm

w_c = peso del concreto por unidad de volumen ($1500 < w_c < 2500$) kg/m^3

en la figura F.2.9.8-1 se ilustran los conceptos de e_{mid-ht} y de localización del conector en posición débil y en posición fuerte.

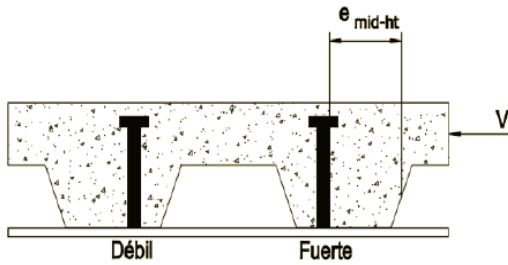


Figura F.2.9.8-1 Conceptos de e_{mid-ht} y de localización del conector en posición débil y en posición fuerte.

La siguiente tabla presenta los valores de R_g y R_p para varios casos.

Condición	R_g	R_p
Sin tablero*	1,0	0,75
Tablero metálico orientado paralelamente al perfil de acero.		
$w_r/h_r \geq 1.5$	1,0	0,75
$w_r/h_r < 1.5$	0,85**	0,75
Tablero metálico orientado perpendicularmente al perfil de acero		
Número de espigos que ocupan el mismo valle del tablero metálico:		
1	1	0,6†
2	0,85	0,6†
3 ó más	0,7	0,6†

h_r = peralte nominal de la nervadura, mm

w_r = ancho promedio de la nervadura o capital (según se define en el numeral F.2.9.3.2.3), mm

** para un espigo sencillo

† este valor puede aumentar a 0.75 cuando $e_{mid-ht} \geq 50$ mm

F.2.9.8.2.2- resistencia de los conectores tipo perno. el uso de conectores tipo perno estará limitado a losas macizas de concreto sobre perfiles de acero.

La resistencia nominal de un conector tipo perno embebido en una losa de concreto se tomará como:

$$Q_n = 0.14 A_{cp} \sqrt{f'c Ec} (S/d_{cp})^{0.25} \leq A_{cp} F_u \quad (F.2.9.8-2)$$

Donde:

d_{cp} = diametro nominal de un conector tipo perno, mm

A_{cp} = area de seccion transversal del conector tipo perno, mm^2

F_u = resistencia a tensión mínima especificada para los conectores tipo perno, MPa.

S = separación longitudinal centro a centro entre conectores tipo perno, mm.

$f'c$ = resistencia especificada a compresión del concreto, MPa

E_c = modulo de elasticidad del concreto = $0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f'c}$, MPa

w_c = peso del concreto por unidad de volumen ($1500 \leq w_c < 2500$) kg/m^3

los pernos deberán tener como mínimo una resistencia equivalente a la de los pernos SAE J429 Grado 2 y deben soldarse con un filete a todo alrededor de acuerdo con el código AWS D1.1”

El procedimiento y geometría de la soldadura aplicada cumple con el Capítulo 7 del Código AWS D.1.1 [2], el cual especifica lo siguiente.

“7.5.5 Opción de soldadura de filete FCAW, GMAW, SMAW, como opción de contratista, los espárragos pueden ser soldados utilizando un proceso FCAW, GMAW o SMAW precalificado, siempre que se cumplan los siguientes requerimientos:

7.5.5.1 Superficies. Las superficies a ser soldadas y las superficies adyacentes a la soldadura, deberán estar libres de óxidos, escoria, humedad, grasa o cualquier otro material ajeno que pudiera restringir una soldadura correcta o pudiera producir humos objetables.

7.5.5.2 Extremo de espárrago. Para soldaduras de filete, se deberá limpiar el extremo del espárrago.

7.5.5.3 Encaje de espárrago (Soldaduras de Filete). Para soldaduras de filete, la base del espárrago deberá ser preparada para que la base del espárrago encaje contra el metal base.

7.5.5.4 Tamaño mínimo de soldadura de filete. Cuando se utilicen las soldaduras de filete, el mínimo tamaño deberá ser mayor a aquellos requeridos en la tabla 5.8 o tabla 7.2.

7.5.5.5 Requerimientos de Precalentamiento. El metal base al cual los espárragos son soldados, deberá ser precalentado en conformidad con los requerimientos de la tabla 3.2.

7.5.5.6 Electrodo SMAW. La soldadura SMAW, deberá ser realizada utilizando electrodos de bajo hidrógeno de 5/32 pulg. o 3/16 pulg. (4.0 mm o 4.8

mm) de diámetro, excepto que un electrodo de menor diámetro pueda ser utilizado en espárragos de 7/16 pulg. (11.1 mm) o menor en diámetro para soldaduras fuera de posición.”

Los electrodos de bajo carbono que se mencionan son los E7018. Las soldaduras que se deben colocar por norma son filetes de acuerdo a la tabla 1, y así se ejecutaron.

Tabla 1. Tomada de AWS D1.1, capítulo 7.5

Tabla 7.2 Tamaño de Soldadura de Filete Mínimo para Espárragos de Diámetro Pequeño. (ver 7.5.5.4)			
Diámetro del espárrago.		tamaño del filete Min.	
pulg.	mm	pulg.	mm
1/4 hasta 7/16	6 a 11	3/16	5
1/2	12	1/4	6
5/8, 3/4, 7/8	16, 20, 22	5/16	8
1	25	3/8	10

3.2. Calibración de las ecuaciones de NSR-10 con datos tomados de investigaciones nacionales.

Previamente a la realización de los ensayos se realizó la calibración de las ecuaciones de la NSR-10, F.2.9.8.2.1, AISC 360-10, para losa en concreto sin tablero metálico y conector tipo espigo con cabeza, y la ecuación F.2.9.8.2.2 correspondiente a losa maciza en concreto y conector tipo perno, con el fin de contrastar las curvas y establecer que tan cercana es la interpretación de los resultados de los ensayos. Para dichas comparaciones se utilizaron los datos obtenidos en las pruebas nacionales, (García y Molina, [6].), (Molina y Hurtado [12].), (Hurtado et al. [10]).

Figura 1. Presenta el diagrama carga, P, asumida por un solo conector versus el diámetro de conector. Las líneas continuas corresponden a la curva obtenida de datos experimentales de (García y Molina [6]). En la tabla 1. Se presenta el resumen de datos extraídos de la tabla 8 de, (García y Molina [6]), se seleccionó la información de capacidad de conectores que están separados cada 300mm.

De acuerdo con la figura 1, se observa que los valores experimentales obtenidos por, (García y Molina [6]), presentan valores superiores a los teóricos. Las curvas con triángulos, y equis blanca, corresponde al caso de conector tipo espigo con

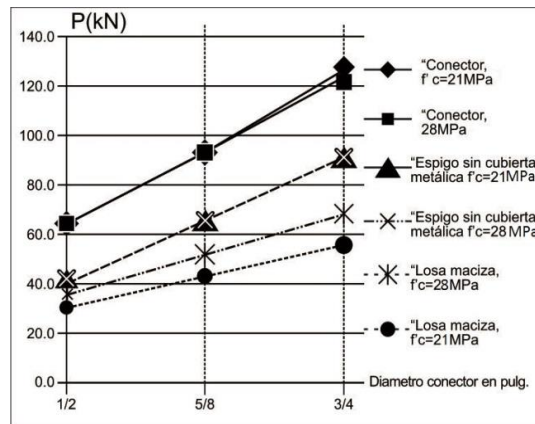


Figura 1. Correlación de datos experimentales tomados de (García y Molina [6]). La información fue tomada de la tabla 2.

Tabla 2. Resumen de datos extraídos de la tabla 8 de, (García y Molina [6])

Fuerza promedio por conector. Separación 300mm		
	ϕ	P(kN)
21MPa	1/2	63.0
	5/8	90.3
	3/4	126.0
28MPa	1/2	64.7
	5/8	91.3
	3/4	123.3

cabeza y losa sin cubierta metálica, para los caso de concreto $f'c=21MPa$ y concreto $f'c=28MPa$. Dichas curvas se sobreponen, lo cual indica que para las mismas capacidades es más económico utilizar concreto de $f'c=21MPa$. Estas curvas se acercan más a los valores experimentales.

Las dos curvas restantes corresponden al caso teórico, incluido en NSR-10, de losa maciza con conector tipo perno, donde se observa que la capacidad de la conexión es la que se ve influida por la calidad del concreto.

Aunque las pendientes de las curvas son relativamente similares, evidenciándose que la rigidez de la conexión es similar para los diferentes casos, se debe tener presente que la ecuación teórica para losa maciza incluida en NSR-10, aunque no tiene restricción en su uso, se encontró en la investigación de García y Molina [6], que la validez de las formulas propuestas aplica al rango de separaciones estudiadas por ellos, desde cero hasta 140mm.

Según la figura 1, se considera que la fórmula de AISC 360-10, NSR-10 estima con mejor aproximación los valores experimentales.

Tabla 3. Elaborada a partir de la tabla 4 de (Molina y Hurtado [12]).

Valores promedio por conector, tomado de tabla 4					
Probeta	$\phi_{conector}$	$p(kN)$	Probeta	$\phi_{conector}$	$p(kN)$
M4-1-0-1,2,3	1/2	100.4	M4-2-14-1,2,3	1/2	90.2
M5-1-0-1,2,3	5/8	129.0	M5-2-14-1,2,3	5/8	116.2
M6-1-0-1,2,3	3/4	178.8	M6-2-14-1,2,3	3/4	116.5
M4-2-8-1,2,3	1/2	93.8	M4-3-12-1,2,3	1/2	78.1
M5-2-8-1,2,3	5/8	97.7	M5-3-12-1,2,3	5/8	82.7
M6-2-8-1,2,3	3/4	134.9	M6-3-12-1,2,3	3/4	109.9
M4-2-12-1,2,3	1/2	86.5	M4-3-14-1,2,3	1/2	77.8
M5-2-12-1,2,3	5/8	117.5	M5-3-14-1,2,3	5/8	80.7
M6-2-12-1,2,3	3/4	139.2	M6-3-14-1,2,3	3/4	111.4

En la tabla 3, M4-1-0, 1, 2, 3, M4, según convención de ((Hurtado et al. [10])), significa que la muestra tiene conector a cortante de diámetro de media pulgada, o sea 4 octavos de pulgada. El -1- significa que es un conector, el -0- significa la separación entre conectores, 1, 2, 3 corresponden al consecutivo del tipo de modelo.

Referente a la figura 2, se observa que las curvas experimentales obtenida con datos de (Hurtado et al. [10]), en líneas continuas, presenta valores superiores a las teóricas. Para diámetros de 1/2" y 5/8" la rigidez de la conexión, la cual se puede obtener de la pendiente de la curva, dio un poco menor que la teórica, sin embargo, para diámetros entre 5/8" y 3/4" se observa que las pendientes de las curvas continuas dan mayor que las teóricas.

La línea discontinua y con puntos, con equis, corresponde al caso teórico para un solo tornillo en losa maciza de concreto, F.2.9.8.2.2. Para evaluar la formula con un solo tornillo en losa maciza, se utilizó un artificio en el cual se asumió la separación, S, de 600 mm. El resultado dio similar al caso de losa de concreto sin cubierta metálica.

Para el caso de conector de 3/4" la ecuación teórica, para losa en concreto sin cubierta metálica, curva con equis y un elemento vertical que, prácticamente se superpone a la curva con equis, se acerca más a los resultados experimentales de (Hurtado et al. [10]).

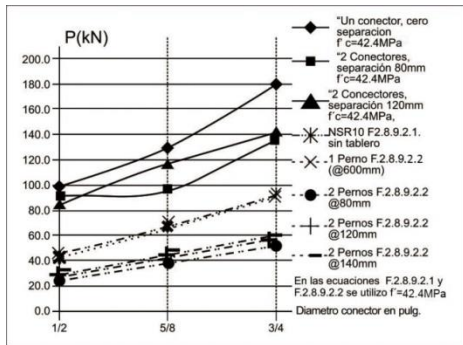


Figura 2. Correlación de datos experimentales, (Hurtado et al. [10]), tomados de la tabla 2. También se presentan curvas teóricas de AISC360-10 y NSR-10 conectores tipo espigo con cabeza losa sin cubierta metálica y tipo perno en losa maciza, todos para $f'c = 42.4$ MPa.

Para diámetros pequeños se podría decir que no es eficiente trabajar con concreto de alta resistencia, como tampoco lo es desde el concepto económico. Se observa que con la utilización de concreto de alta resistencia sería más acertado utilizar conectores de mayor diámetro.

La figura 3, ilustra curvas continuas correspondientes a valores obtenidos de ensayos de (Hurtado et al. [10]). De la tabla 2 se calcularon valores promedios y se utilizaron para realizar las curvas de línea continua.

De acuerdo a la gráfica 3, los valores teóricos obtenidos con la ecuación para predecir capacidad de conector tipo perno con losa maciza sobrepasan los valores de los experimentos realizados por (Hurtado et al. [10]), en particular, para diámetro de conector igual o superior a 5/8".

La ecuación para predecir la capacidad del conector en caso losa sin cubierta metálica, F.2.9.8.2.1, curva con punteado pequeño, da valores un poco menores que las curvas logradas con datos experimentales de (Hurtado et al. [10]), Se observa que la pendiente media para el caso de conector de 5/8" y 3/4" da valores similares a los experimentales.

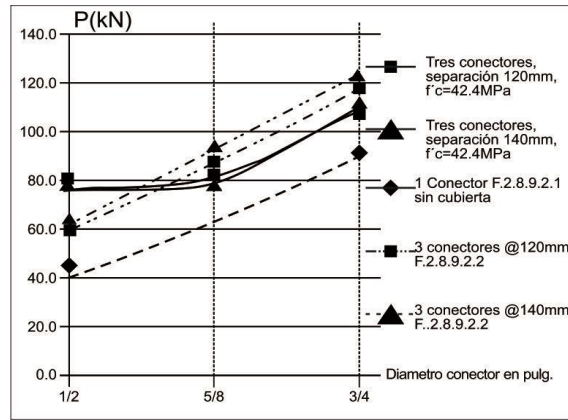


Figura 3. Resultados tomando valores experimentales de (Hurtado et al. [10]), caso de tres conectores por probeta. Datos tomados de la tabla 2. También se ilustran curvas para valores teóricos de NSR-10.

Tabla 4. Tabla realizada a partir de la investigación (Hurtado et al. [10]) tabla 7, la cual sirvió de base para realizar la figura 4.

Probeta	P(kN)	Probeta	P(kN)	Probeta	P(kN)	Probeta	P(kN)
M4-2-8	187.5	M4-2-12	150.2	M4-2-14	180.4	M4-3-12	234.2
M5-2-8	195.3	M5-2-12	235.0	M5-2-14	232.5	M5-3-12	248.1
M6-2-8	253.4	M6-2-12	278.4	M6-2-14	233.0	M6-3-12	318.9
						M4-3-14	243.7
						M5-3-14	214.6
						M6-3-14	334.2

En la tabla 4, M4-2-8, M4, según la convención de ((Hurtado et al. [10])), significa que la muestra tiene

conector a cortante de diámetro de media pulgada, o sea 4 octavos de pulgada. El -2- significa que son dos conectores y el -8- significa que están separados cada 80 mm.

La figura 4, corresponde a valores tomados de (Hurtado et al. [10]), tabla 4, y también a valores teóricos para conector tipo espigo con cabeza en losa de concreto sin cubierta metálica; y para conector tipo perno en losa maciza. Se puede observar que las líneas continuas están por encima de las demás curvas, indicando que los resultados experimentales están por encima de los teóricos. Las diversas curvas presentan cierta coincidencia en la pendiente media, con lo cual se puede expresar que las fórmulas teóricas predicen con buena precisión la rigidez de la conexión.

Las curvas para el caso teórico losa en concreto sin cubierta metálica, curva con equis y elemento vertical, y la curva para losa maciza con un conector tipo perno separado cada 600 mm, curva con círculo negro, se acercan más a los valores experimentales de (Hurtado et al. [10]). Sin embargo, para el caso de losa maciza se debe tener presente que se utilizó un artificio matemático para representar un conector en una viga.

Los valores teóricos para losa maciza y conector tipo perno, curvas con cruz, con guion negro y con guion gris, dan por debajo de los valores indicados anteriormente. Se observa que la capacidad del conector se mejora con el incremento del diámetro, logrando valores cercanos al 50% de los resultados experimentales de (Hurtado et al. [10]), esto para diámetro de 3/4".

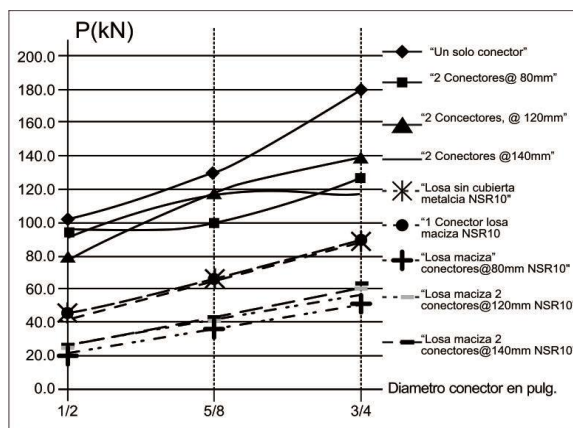


Figura 4. Curvas de datos experimentales tomados de, (Hurtado et al. [10]), información tomada de tabla 3; y curvas teóricas de NSR-10

La figura 5 ilustra el comportamiento experimental mostrado en los datos de (Hurtado et al. [10]), tres conectores por probeta, donde se observa que la pendiente media de las curvas de líneas continuas es sensiblemente inferior a los valores teóricos, lo cual indica que la rigidez de la conexión de la probeta disminuyó significativamente, sobre todo para el rango de diámetros entre 1/2" y 5/8". La curva para losa de concreto sin cubierta metálica, curva con triángulos, que presenta el valor teórico indicado en NSR-10, F.2.9.8.2.1, dio por debajo de las curvas continuas, pero con tendencia cercana, lo cual indica que es buena estimación de los datos experimentales de (Hurtado et al. [10]), en particular, para diámetros entre 5/8" y 3/4". Los valores teóricos obtenidos para losa maciza, NSR-10, F.2.9.8.2.2, curvas con equis gruesa, y curva con equis y elemento vertical, presentan valores superiores a los teóricos (de las curvas continuas), con lo cual se puede indicar que dichos valores teóricos sobreestiman los valores experimentales de (Hurtado et al. [10]), para diámetros entre 5/8" y 3/4".

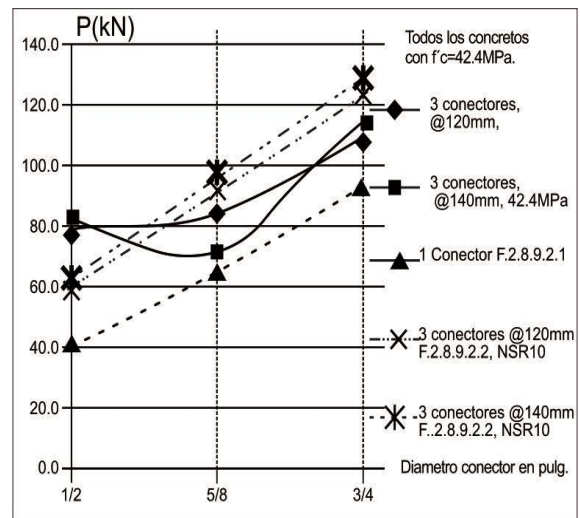


Figura 5. Curvas de datos experimentales de, (Hurtado et al. [10]), obteniéndose valores promedios por conector de los datos de la tabla 3, probeta con tres conectores, y teóricos de AISC 360-10 y NSR-10 conectores tipo espigo con cabeza y tipo perno, para $f'c = 42.4$ MPa.

Para concreto de $f'c = 42.4$ MPa, la ecuación para losa maciza con conector tipo perno, con $S = 600$ mm, coincide aproximadamente con la ecuación para losa sin cubierta metálica y conector tipo espigo con cabeza y a su vez con el resultado experimental para un conector tipo perno y losa maciza.

La ecuación de NSR-10, AISC 360-10, para el caso de losa en concreto sin cubierta metálica, F.2.9.8.2.1, para separación entre conectores de 305 mm y conector de 3/4", representa la mejor aproximación a los resultados experimentales de (García y Molina, [6].), (Molina y Hurtado [12].), (Hurtado et al. [10]).

4. Ensayos realizados en laboratorio.

4.1 Descripción de las probetas.

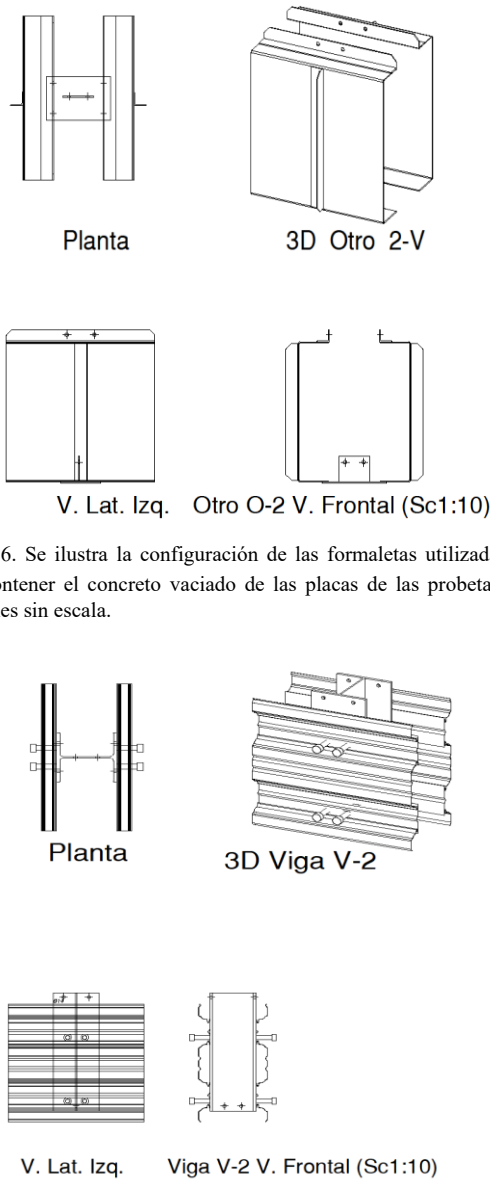


Figura 6. Se ilustra la configuración de las formaletas utilizadas para contener el concreto vaciado de las placas de las probetas. Imágenes sin escala.

Figura 7. Se presenta la configuración de la formaleta de la probeta. Se observa un conector por valle de la cubierta metálica. Se presenta también el perfil de acero W8x31. Ancho de la placa 600mm, altura 570mm, separación entre conectores $\phi=3/4"$ 335mm. Cubierta metálica calibre 22 de 2". Imágenes sin escala.



Fig. 8. Formaleta y vaciado del concreto. (a) formaleta metálica. (b) Probeta sin vaciar concreto, compuesta por perfil metálico, tablero metálico y conectores de cortante.



Fig. 9 (a) Ensamble de la probeta con la formaleta. (b) vaciado de las losas en concreto en cada una de las probetas.

Se construyeron tres probetas por cada grupo a ensayar, en total son seis probetas, dado que se cuenta con dos grupos idénticos exteriormente y diferentes en cuanto al tipo de conector de cortante. Se consideró que la mínima cantidad de elementos para establecer un promedio y una desviación estándar es tres. Por otro lado, considerando el grupo de seis elementos, se tiene una mayor población para estimar el promedio así como la desviación estándar. Podría pensarse que la cantidad de probetas sería poca para el estudio, sin embargo, teniendo en cuenta que los resultados de esta investigación abre las puertas para nuevas investigaciones, entonces ésta sería piloto para las demás y la cantidad de probetas es adecuada.

Las probetas consisten en dos secciones de losa en concreto vaciado sobre tablero metálico. Estos elementos se conectan una en cada ala de un perfil W8X31, mediante conectores de cortante. Se obtiene un elemento compuesto simétrico. La probeta así descrita se ensaya a cortante puro, prueba push out.

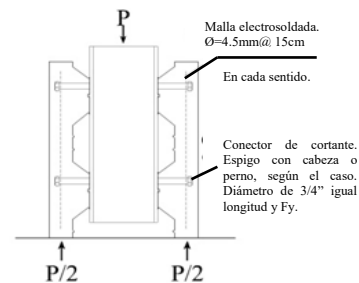


Figura 10. Sistema de ensayo a cortante directo o puro, prueba push out. Losas en concreto vaciado sobre tablero metálico y conectado a perfil W8x31 mediante conector a cortante.

La figura 10, ilustra el esquema básico de la prueba de corte directo, push out. Se observa un elemento compuesto simétrico. Para lograr aplicar la fuerza de manera simple y eficaz, la prensa aplica la fuerza al perfil, según se ilustra en la figura, y las losas en concreto transmiten dicha carga a la plataforma de la máquina universal. Al reaccionar la plataforma, se presenta un sistema de fuerzas paralelas que tienden a deslizar al perfil de acero a lo largo de las losas. La presencia de los conectores de cortante son los elementos que evitan en cierto grado ese desplazamiento. En esta investigación, parte del objetivo es determinar la carga máxima que soporta cada probeta y los desplazamientos generados ante los incrementos de carga.

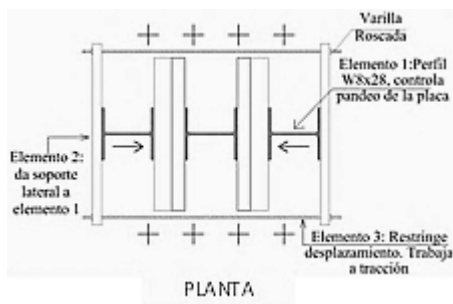


Figura 11. Planta de probeta y sistema adicional de soporte durante el ensayo. Indicación de fuerzas mientras se realiza el ensayo de la probeta.

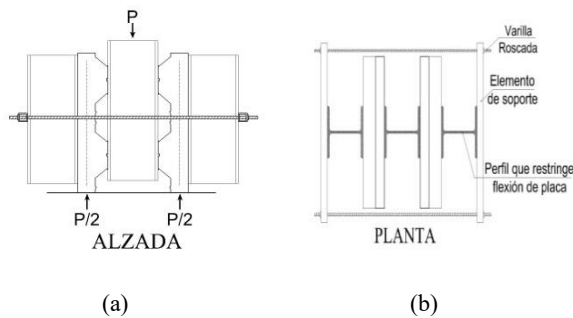


Figura 12. Dispositivo para controlar posible desplazamiento horizontal de la placa de concreto durante la prueba.

Para evitar que durante el ensayo la placa se deforme hacia afuera, se utilizaron elementos de soporte. A cada lado de la losa, frente al perfil W8X31 se colocaron perfiles. Ver figuras 11 y 12. Para sostener dichos perfiles se requirió de otro elemento de acero denominado elemento de soporte, verlo en figura 11. Y para controlar la deformación de las losas hacia afuera, se colocaron varillas roscadas que unen a los elementos de soporte. Previamente a la prueba, dichas varillas se tensan para generar compresión a lo largo de la placa y contrarrestar la deformación de la misma, ver figura 12 (a).

Es importante mencionar que para todos los ensayos se utilizó como velocidad de carga, 0,10 MPa/s esto es inferior a la carga que se utiliza normalmente en las pruebas de cilindros de concreto, que es de 0,24MPa/s, lo que implica que los resultados obtenidos tienden a ser conservadores, dado que a menor velocidad de aplicación de la carga, se presenta menor capacidad del elemento ensayado.

4.2 Materiales y Equipos

Descripción de materiales y equipos.

Concreto: la resistencia de $f'c=21$ MPa. El curado se realizó así: para las probetas se utilizó un producto químico colocado por aspersión sobre la superficie del concreto. Para los cilindros se realizó por inmersión en piscina con concentración de cal al 1%. Lámina colaborante: Marca Acesco, altura del valle 2", calibre 22, $Fy=272$ MPa.

Conectores a cortante. Se utilizaron espigo con cabeza o stud, $Fy=345$ MPa y $Fu=450$ MPa, y perno ASTM A307 Grado 2, $Fu=422$ MPa. Se usaron en ambos casos longitudes y diámetros iguales. Diámetro de 3/4" y longitud de 3,5"

Perfil: Se utilizaron perfiles W8x35 Grado 50.

Equipos utilizados en los ensayos: prensa universal, fabricada por Pinzuar Ltda., capacidad de carga axial 500 kN, las mediciones de carga y deformación fueron tomadas de los registros que genera el equipo. Las pruebas de carga se realizaron en el Laboratorio de estructuras de la Universidad Nacional, sede Medellín.

Sistema de apoyo de la probeta. Se dispuso elemento en concreto, el cual forma parte integral de la losa. Se dimensionó para evitar falla por aplastamiento del concreto. Durante las pruebas no se presentó.

Sistema de confinamiento: se dispuso de un sistema conformado por: perfil de acero, W8x31; elemento de soporte, acero ASTM-A500 Grado C y varilla roscada, tensor, acero A36. Dicho sistema debe tener por lo menos una capacidad de carga horizontal del 10% de la carga axial que será aplicada durante las pruebas.

4.3 Registro fotográfico.



Figura 13. Prensa Universal con la cual se realizan las pruebas. Laboratorio de estructuras de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

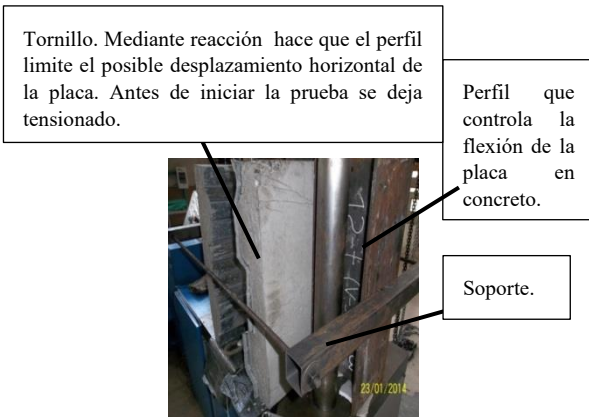


Figura 14. Se ilustra el sistema con el cual se realizó el ensayo.

Se presenta el registro fotográfico de las probetas, iniciando con las que tienen conector de cortante tipo espigo con cabeza, se incluyen dentro de este grupo las figuras 13 a 22. Las figuras 23 a 27 corresponden a probetas con conector tipo perno.



Figura 15. Probeta a ser utilizada en el ensayo.



Figura 16. Probeta #1. Falla del concreto. Con una barra se retiró la losa para observar el espigo.



Figura 17. Probeta #1. Se observa que el espigo con cabeza giró, lo cual es indicio que alcanzó a fluir.



Figura 18. Probeta #2. Superficie de falla en el concreto. El del lado derecho es ligeramente mayor.



Figura 19. Probeta #2. Detalle del espigo con cabeza. Esta inclinado levemente.



Figura 20. Probeta #6. Superficie de falla en el concreto.



Figura 21. Probeta #6. Giro del espigo con cabeza. Alcanzo a fluir.



Figura 22. Probeta #3. C Superficie de falla en el concreto.



Figura 23. Probeta #3. Conector tipo perno después de la prueba.



Figura 24. Probeta #4. Detalle de la falla del concreto de la placa.



Figura 25. Probeta #4. Detalle del perno. Alcanzó a girar. Alcanzo a fluir.



Figura 26. Probeta #5. Superficie de falla en el concreto.



Figura 27. Probeta #5. Detalle del perno. Alcanzo a fluir, obsérvese que tiende a presentar doble curvatura.

Durante la realización de la prueba se tomaron registros de carga y desplazamiento hasta llegar a la carga de falla de cada probeta. Con esta información se elaboraron gráficas, las cuales contienen los valores de la carga y el desplazamiento, los cuales permiten interpretar el comportamiento estructural de las probetas, en particular, las conexiones entre los elementos que sirven de conectores de cortante, entre la aleta de la viga y la losa en concreto.

5. Resultados obtenidos.

5.1 Ensayos de probetas con conectores tipo espigos con cabeza.

Tabla 5. DATOS DE LOS ENSAYOS EN PROBETAS CON ESPIGOS CON CABEZA.

Ensayo probeta # 1		Ensayo probeta # 2		Ensayo probeta # 6	
Tipo de conector : Espigo.		Tipo de conector: Espigo.		Tipo de conector : Espigo.	
Desplazamiento.	Carga	Desplazamiento.	Carga	Desplazamiento.	Carga
mm	kN	mm	kN	mm	ton
0	0	0	0	0	0
1	20	0.6	20	0.14	20
1.5	40	0.51	40	0.17	40
2.3	60	0.3	60	0.76	60
2.9	80	0.45	80	1.02	80
3.1	90	0.49	100	0.41	100
3.6	100	0.6	120	0.52	120
3.78	110	1.04	140	0.6	140
3.81	120	1.4	160	0.58	160
3.81	130	2.33	190	0.86	180
3.33	140	5.1	190	1.77	200
3.22	150	11.4	199	3.02	220
3.49	160	-	-	13.62	220.9
3.32	170	-	-	-	-
3.56	173.8	-	-	-	-

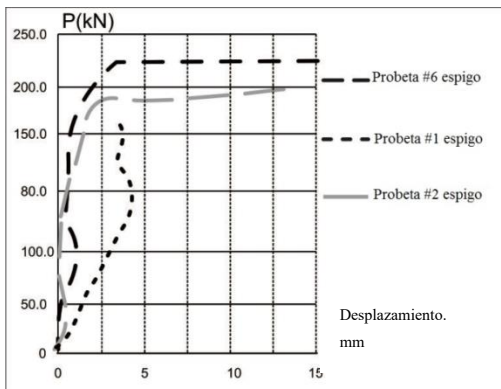


Figura 28. Grafica carga vs Desplazamiento espigos con cabeza.

5.2 Ensayos de probetas con conectores tipo perno.

Tabla 6. ENSAYOS PROBETAS CON CONECTORES TIPO PERNOS.

Ensayo probeta # 3		Ensayo probeta # 4		Ensayo probeta # 5	
Tipo de conector : PERNO.		Tipo de conector : PERNO.		Tipo de conector: PERNO.	
Desplazamiento.	Carga	Desplazamiento.	Carga	Desplazamiento.	Carga
mm	kN	mm	kN	mm	kN
0	0	0	0	0	0
0.71	20	0.25	20	0.46	20
0.86	40	0	40	0.38	40
0.86	60	0.2	60	0.42	60
0.94	80	0.51	80	0.2	80
1.12	100	0.62	100	0.4	100
1.1	120	1.2	120	0.29	120
0.68	140	1.56	140	0.37	140
0.24	160	1.68	160	0.41	160
0.1	180	2.43	180	9.46	161.4
0.14	200	9.73	192.3	-	-
1.53	210	-	-	-	-
3.12	211	-	-	-	-
8.8	212.3	-	-	-	-

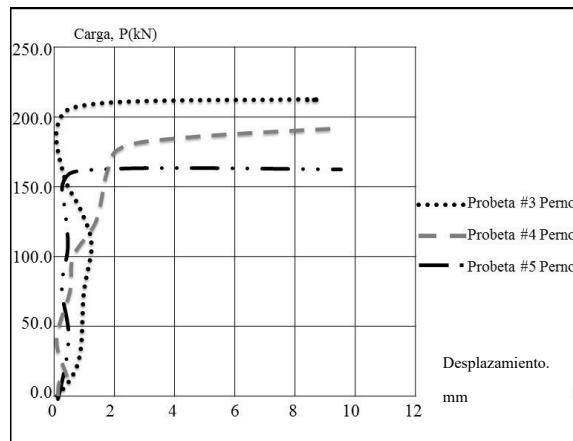


Figura 29. Grafica carga vs desplazamiento probeta con pernos.

5.3. Análisis de resultados.

En la Figura 28 se puede apreciar el comportamiento de la probeta #1. Hasta una carga de 100 kN presenta pendiente constante. A partir del valor de carga citado hasta la ruptura presenta fluctuación de la pendiente, entre negativa y positiva. Este hecho coincide con las vibraciones presentadas, a partir de la carga de 100 kN, durante la prueba. De acuerdo con programación de la prensa universal, en caso que ella interprete una posible falla del material de prueba, activa una acción de retroceso con el fin de proteger la máquina. Dicho retroceso queda registrado en la curva como un acortamiento del desplazamiento, lo cual genera la pendiente negativa. Debido a que la maquina no registra disminución de reacción de parte del espécimen, suspende la acción de retroceso y continúa con la carga, en este caso se presenta pendiente positiva.

El efecto de vibración se debe al proceso de reacomodo de la placa de concreto ante la restricción colocada a pandeo y la acción de carga que se ejerce con la prensa universal. Los elementos colocados para evitar que la placa de concreto pandee, presentó deformaciones bajo carga. La tendencia de pandeo que presentó la losa ante carga y la acción de contención de los elementos provisto para ello, dentro del rango elástico de ellos, generó un resorte con constante variable, el cual quedó registrado como suceso de pendientes positivas y negativas.

La carga media por conector corresponde a $170/4 = 43$ kN, se divide entre 4 por ser la cantidad de conectores que tiene cada probeta.

Para la probeta # 2, espigo con cabeza, se aplicó mayor ajuste a las tuercas para generar mayor tensión en el perno y así dar más compresión a la placa de concreto. Dadas estas condiciones se observa que se incrementó la pendiente de la curva, y que se presentan menores oscilaciones. En estas circunstancias, el elemento desarrolla su máxima capacidad en menor desplazamiento que el ensayo anterior, con lo cual se puede concluir que se comportó con mayor rigidez. Se alcanzó a presentar una leve fisura en la cara anterior derecha. La carga media por conector fue de $199/4 = 49$ kN.

Probeta #6, espigo con cabeza. La pendiente promedio es alta a pesar de presentarse las oscilaciones que indican reacomodo de la placa de concreto. Aparte de la oscilación, un sólo reacomodo considerable. No presentó fisuras horizontales en ninguna de las caras de la probeta. La pendiente de la curva es alta, con lo cual se indica que la rigidez del sistema se incrementó respecto a las anteriores pruebas. Carga media por conector = $220/4 = 55$ kN.

Carga promedio probetas con espigo con cabeza = $(43+49+55)/3 = 49$ kN. Desviación estándar 6.0kN.

En la Figura 29 se observan los registros realizados durante la realización de las pruebas de corte directo o push-out a las probetas #3, #4, y #5 con conector tipo perno. A continuación se hacen los comentarios para cada prueba.

En la Figura 29, la curva correspondiente a la Probeta # 3, desde la carga 120 kN hasta 200 kN, se aprecia curvatura hacia la izquierda de la figura. En la medida que se incrementa la carga, disminuye también la deformación. A partir de la carga de 120 kN comienza a disminuir la deformación con el incremento de carga. Se deforma ante la fuerza de la prensa universal pero tiene la capacidad de

recuperarse y sostenerse. La probeta trabajó en el rango elástico, hasta una carga de 200 kN. La pendiente media de la curva en este sector de la gráfica es considerablemente alta respecto al grupo e indica que la interface losa perfil de acero presenta alta rigidez. Capacidad promedio del perno: $210/4 = 53$ kN.

Probeta # 4. Las oscilaciones de la curva es notoria, sin embargo hay una tendencia clara en la pendiente media. Se presentó una fisura en el sector izquierdo. De todas maneras la pendiente de la gráfica es pronunciada, pudiendo ser algo mejor si se hubiera evitado la aparición de la fisura. Capacidad media del perno = $192/4 = 48$ kN.

Probeta # 5 Presenta oscilaciones pero la tendencia de la curva es casi vertical. La pendiente media de la curva, hasta los 160 kN, al ser alta, indica que la rigidez del sistema es también alta. Las losas no presentaron fisuras. Capacidad media del perno = $161/4 = 40$ kN.

Carga promedio de las probetas con Perno = $(53+48+40)/3 = 47$ kN. Desviación estándar 6.6 kN

Realizando un comparativo entre capacidad promedio de espigos con cabeza versus capacidad media de pernos, se obtiene una relación entre Capacidad espigo con cabeza / Capacidad Perno = $49/47 = 1.04$; Puede afirmarse que las resistencias obtenidas son equivalentes.

7. Conclusiones.

La comparación de conectores de cortante tipo espigo con cabeza con conector tipo perno sobre tablero metálico, realizada mediante las pruebas de probetas sometidas a corte directo, push out, utilizando la prensa universal, y fallando seis probetas idénticas; tres con conector tipo espigo con cabeza y tres probetas con conector tipo perno, permite concluir lo siguiente:

Al comparar las capacidades obtenidas para los espigos con cabeza vs los pernos, se obtuvo una relación de 1.04, la cual permite concluir que la capacidad puede catalogarse como equivalente.

Se hace mención especial al comportamiento de los conectores, ya que todos fueron ensayados en posición débil, por lo cual las curvas carga-desplazamiento presentaron similares tendencias, con lo que se concluye que el comportamiento de los conectores tipo espigo con cabeza es equivalente al comportamiento de los conectores tipo perno.

De acuerdo con lo anterior, se establece que para el caso de conectores de cortante de diámetro $3/4''$, es equivalente el uso de espigo con cabeza o pernos, de igual resistencia, diámetro y longitud, en vigas de

acero de sección compuesta con losa de concreto sobre cubierta metálica.

8. Agradecimientos.

Se agradece especialmente a Industrias del Hierro S.A. por su apoyo donando las formaleas y las probetas, y al Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional, seccional Medellín.

9. Referencia bibliográfica.

[1] ANSI/AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings, June 22, 2010.

[2] American Welding Society (AWS), AWS D1.1/D1.1 M:2010.

[3] Bonilla R. Jorge D., Bezerra Luciano M., Quevedo Rafael L., Recarey M. Carlos A., Arrizabalaga Enrique M.(2015) Study of stud shear connectors behaviour in composite beams with profiled steel sheeting, Revista de la construcción. On-line versión ISSN 0718-915X, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2015000300006>

[4] Dai, X. H., Lam, D., Saveri, E. (2015). Effect of Concrete Strength and Stud Collar Size to Shear Capacity of Demountable Shear Connectors. Journal of structural engineering, 141(11), 04015025.

[5] Easterling, Samuel, W., Gibbings, David R., and Murray, Thomas M. Strength of Shear Studs in Steel Deck on Composite Beams and Joists. Second quarter 1993. Engineering Journal / American Institute of Steel Construction, AISC, 2003.

[6] García Zamora, Alejandro Y Molina Herrera, MaritzabeL., Comportamiento de vigas de sección compuesta con perfiles de acero laminado y losa de concreto empleando conectores de cortante tipo tornillo grado dos (2). En revista de ingeniería e investigación. Vol. 28 No 3, diciembre de 2008(11-21). ISSN: 0120-5609.

[7] Grant, Jr. John Angus., High Strength Steel Composite Beams with Formed Metal Deck and Low Partial Shear Connections., Thesis presented to the graduate committee of Lehigh University in candidacy for the degree of Master of Science in department of Civil Engineering. Lehigh University. October 1973.

[8] Grant, Jr. John A., Fisher, John W. Y Slutter, Roger G., Composite Beams with Formed Steel Deck., Engineering Journal. First Quarter 1977, American Institute of Steel Construction, AISC, 2003.

[9] Han, Q., Wang, Y., Xu, J., & Xing, Y. (2015). Static behavior of stud shear connectors in elastic concrete-steel composite beams. Journal of constructional steel research, 113, 115-126.

[10] Hurtado A., Xavier Fernando, Molina H. MaritzabeL H. Y Linero S. Dorian Luis., Comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo de resistencia grado dos para un sistema de sección compuesta., Grade-two resistance screws shear connector behavior for a composite section system. En Revista Ingeniería e Investigación, Vol. 28 No. 2, Agosto de 2008 (4-14). ISSN:0120-5609.

[11] Lam, D., El Lobody, E. (2005). Behavior of headed stud shear connectors in composite beam. Journal of structural engineering, 131(1), 96-107.

[12] Molina-Herrera, Maritzabel Y Hurtado-Amezquita, Xavier Fernando., Formulación para el diseño de conectores de cortante tipo tornillo en secciones compuestas. Ingeniería e Investigación. Universidad Nacional de Colombia. Julio 2011. ISSN: 0120-5609.

[13] Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente- Ley 400 de 1997-Decreto 33 de 1998- Decreto 34 de 1999, NSR98.

[14] Ollgaard, Jorgen G., Slutter Roger G. Y Fisher John W., Shear strength of stud connectors in lightweight and normal wight concrete., AISC Eng'g Jr., April 1971(71-10). Fritz Laboratory Reports. Paper 2010. <http://preserve.lehigh.edu/engr-civil-environmental-fritz-lab-reports/2010> [Citado en 01 marzo de 2016]

[15] Pathirana, S. W., Uy, B., Mirza, O., & Zhu, X. (2015). Strengthening of existing composite steel-concrete beams utilising bolted shear connectors and welded studs. Journal of constructional steel research, 114, 417-430.

[16] Pavlović, Marko S., Resistance of bolted shear connectors in prefabricated steel-concrete composite decks., PhD thesis., University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering (in press). 2013.

[17] Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Ley 400 de 1997, Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, NSR10, título F.

[18] Shim, CS., Lee, PG., Yoon, TY. (2004). Static behavior of large stud shear connectors. Engineering structures, 26(12), 1853-1860.

[19] Vinnakota, Sriramulu, Foley, Christopher M., Y Vinnakota, Murthy R., Design of Partially or Fully Composite Beams, with Ribbed Metal deck, Using LRFD Specifications., Second Quarter 1988, Engineering Journal / American Institute of Steel Construction, AISC, 2003.

[20] Xu, C., Sugiura, K., Masuya, H., Hashimoto, K., & Fukada, S. (2015). Experimental Study on the Biaxial Loading Effect on Group Stud Shear Connectors of Steel-Concrete Composite Bridges. Journal of bridge engineering, 20(10), 04014110.