

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL PUNZONAMIENTO EN PLACAS DE H°A° REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Auad, Alejandro; Gutiérrez, Sergio Eduardo; Sfer, Domingo
Ingenieros Civiles, Docentes e Investigadores
Instituto de Estructuras “Arturo M. Guzmán”
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán

RESUMEN

La falla por punzonamiento en placas de hormigón armado es un mecanismo de falla frágil que ocurre con una importante reducción de capacidad portante.

El hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA) se origina por la adición de fibras cortas de acero esparcidas de manera aleatoria en una matriz de hormigón simple que adquiere virtudes de mayor ductilidad a compresión y principalmente a tracción frente al hormigón normal.

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de entrepisos sin vigas conformados por HRFA. A través de ensayos experimentales llevados a cabo sobre prototipos construidos con materiales y tecnologías propias de la región, se estudió la influencia de la cuantía de acero y el porcentaje de adición de fibras.

Se evaluó el tipo de colapso de los prototipos bajo cargas de punzonamiento. Los resultados investigados fueron: la carga última de colapso, la resistencia tras haber alcanzado la misma, los patrones de fisuración y la ductilidad bajo cargas de punzonamiento.

ABSTRACT

The punching failure in reinforced concrete plates is a brittle failure mechanism that takes place with an important reduction in the load capacity.

Concrete reinforced with steel fibers (SFRC) is originated by the addition of short steel fibers randomly spread in a simple concrete matrix, which has virtues such as its greater ductility.

In the present work the behavior of these flat plates formed by SFRC is analyzed. Through experimental tests carried out on prototypes built using materials and technologies of the region, the influence of the different steel reinforcement ratio and percentage of fiber addition was studied.

The collapse of the prototype under punching shear loads was evaluated. Some of the evaluated parameters were: the punching failure load, the resistance, the ductility and the cracks patterns under the punching shear load.

1. INTRODUCCION

Los sistemas estructurales con entrepisos de hormigón armado sin vigas brindan importantes ventajas arquitectónicas y son muy utilizados en proyectos de edificios de oficinas, plantas industriales y estacionamientos.

En estos sistemas estructurales sin vigas las losas de hormigón apoyan directamente sobre las columnas y por lo tanto presentan la particularidad de colapsar por punzonamiento. Este tipo de falla es un mecanismo de falla frágil que ocurre con una importante reducción de capacidad portante y sin manifestación previa de peligro, resultando así de muy alto riesgo y por lo que deben tomarse medidas necesarias a los fines de impedir su acontecimiento.

El hormigón armado reforzado con fibras de acero (HARFA) se origina por la adición de fibras cortas de acero esparcidas de manera aleatoria en una matriz de hormigón simple que adquiere virtudes de mayor ductilidad a compresión y principalmente a tracción frente al hormigón normal; por lo que se presenta como una alternativa de solución para el tipo de falla expuesta en este estudio.

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de entrepisos sin vigas conformados por HARFA, a través de ensayos experimentales llevados a cabo sobre prototipos construidos con materiales y tecnologías de la región. Se estudia la influencia de la cuantía de acero y el porcentaje de adición de fibras, realizando una comparación con resultados obtenidos anteriormente en el trabajo “Análisis Experimental del Punzonamiento en Losas de Hormigón Armado Reforzado con Fibras de Acero”, Zarzosa et al¹ publicado en las 24° Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.

Considerando dos cuantías de armadura se adoptaron como armaduras de estudio $\emptyset 8c/12$ cm y $\emptyset 10c/12$ cm para el diseño de 4 prototipos de placas por cada disposición. Se elaboraron y ensayaron a punzonamiento cuatro prototipos cuadrados de unión losa-columna de 110 cm de lado y 10 cm de espesor. El hormigón considerado es calidad H-25 para el primer prototipo y en los tres restantes se incorporaron 20, 40 y 60 Kg/m³ de fibras de acero respectivamente.

Se evalúa el tipo de colapso de los prototipos bajo carga de punzonamiento. Los resultados investigados fueron: la carga última de colapso, la resistencia residual tras haber alcanzado la misma, los patrones de fisuración y la ductilidad bajo cargas de punzonamiento.

El trabajo se realizó en el marco del Proyecto de Investigación: “Estudio Experimental y Numérico de la Reparación Estructural con Hormigón reforzado con Fibras” desarrollado en el Instituto de Estructuras “Alfredo M. Guzmán” de la Universidad Nacional de Tucumán.

2. DISEÑO DEL ENSAYO

Los ensayos de placas de hormigón armado reforzado con fibras de acero sometidas a punzonamiento se llevaron a cabo en las instalaciones del Instituto de Estructuras de la Universidad Nacional de Tucumán.

2.1. PROTOTIPOS

Los especímenes consistieron en prototipos de uniones losa-columna. Los especímenes tenían la misma geometría y fueron fabricados con hormigón convencional H-25. Se construyeron 4 placas con armadura $\varnothing 8$ c/12 cm (correspondientes a Zarzosa et al.¹) y 4 nuevas placas con $\varnothing 10$ c/12 cm.

Se diseñaron especímenes cuadrados de 110 cm de lado y 10 cm de espesor, con una columna en el centro de 20 cm de lado por 10 cm de altura donde se aplica la carga de punzonamiento.

Se tuvo en cuenta cuatro características distintas para el hormigón según las cantidades de fibras de acero agregadas:

- N°1: sin adición de fibra de acero (patrón de comparación)
- N°2: 20 Kg/m³ agregados al hormigón.
- N°3: 40 Kg/m³
- N°4: 60 Kg/m³

2.2. ARMADURA ADOPTADA

La armadura de acero de los prototipos es el parámetro que se analiza en los nuevos ensayos frente a los realizados anteriormente por Zarzosa et al.¹. El refuerzo a flexión considerado en las placas consiste en barras longitudinales dispuestas en dos direcciones perpendiculares. No se dispuso armadura de corte. En el presente trabajo se tuvo en cuenta por una cuantía de 0,65% correspondiente a una armadura de $\varnothing 10$ con separación de 12 cm, que se compara con una cuantía de 0,42% correspondiente a una armadura de $\varnothing 8$ cada 12 cm ensayada anteriormente. En la Figura 2 se muestra el detalle de armado de los especímenes.

2.3. NOMENCLATURA ADOPTADA

Los diferentes especímenes a ensayar fueron designados de acuerdo a su cuantía según se disponga armadura $\varnothing 10$ mm o $\varnothing 8$ mm y a la cantidad de fibras de acero agregadas al hormigón.

Placa 1-10 (sin fibra - armadura $\varnothing 10$ c/ 12 cm)

Placa 2-10 (20 Kg/m³ de fibra - armadura $\varnothing 10$ c/ 12 cm)

Placa 3-10 (40 Kg/m³ de fibra - armadura $\varnothing 10$ c/ 12 cm)

Placa 4-10 (60 Kg/m³ de fibra - armadura $\varnothing 10$ c/ 12 cm)

Y

Placa 1-8 (sin fibra - armadura $\varnothing 8$ c/ 12 cm)

Placa 2-8 (20 Kg/m³ de fibra - armadura $\varnothing 8$ c/ 12 cm)

Placa 3-8 (40 Kg/m³ de fibra - armadura $\varnothing 8$ c/ 12 cm)

Placa 4-8 (60 Kg/m³ de fibra - armadura $\varnothing 8$ c/ 12 cm)

DETALLE DE ARMADO

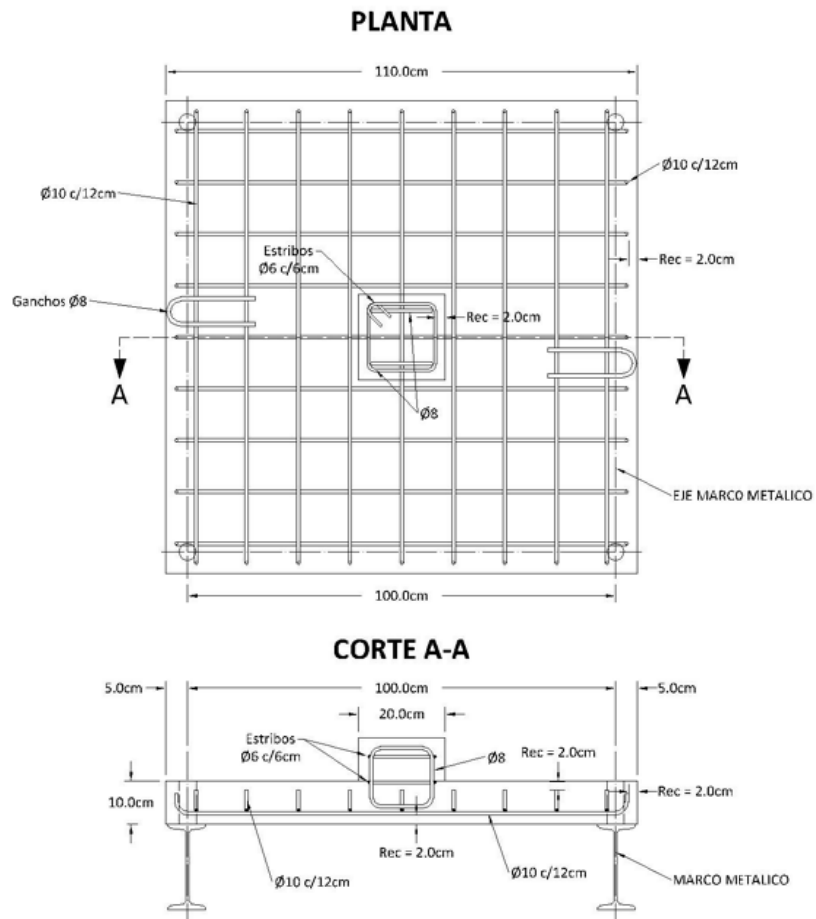


Figura 1. Detalle de armado de especímenes



Figura 2. Vista de Armadura y hormigonado

3. MATERIALES

3.1. HORMIGON

El hormigón empleado corresponde a un hormigón convencional H-25 siguiendo los lineamientos propuestos por el Reglamento CIRSOC 201² y el American Concrete Institute (ACI)³.

En la Tabla 1 se explicita la cantidad de materiales necesarios para la elaboración 1m³ de hormigón, resultantes de la dosificación realizada:

MATERIAL	Cantidad/ m³
Agua [Kg]	223
Cemento [Kg]	485
Ag Grueso [Kg]	752
Ag Fino [Kg]	820

Tabla 1 - Materiales para 1 m³ de hormigón

3.2. CARACTERIZACION DEL HORMIGON

Para poder caracterizar el hormigón elaborado se realizaron probetas cilíndricas y vigas que posteriormente se ensayaron en laboratorio. La cantidad de probetas y vigas que se elaboraron con cada pastón de hormigón se especifican en la Tabla 2.

PASTÓN	FIBRA [Kg/m³]	PROBETAS N°	VIGAS N°
1	Sin fibra	4	0
2	20	4	0
3	40	4	1
4	60	4	1

Tabla 2 - Vigas y probetas elaboradas con cada pastón

3.2.1. ENSAYO DE PROBETAS CILINDRICAS: COMPRESION SIMPLE⁴

Las probetas cilíndricas se realizaron de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura. Las cuales se etiquetaron con dos números de tal manera que se pudiera individualizar cada una según el pastón al que pertenecía (primer dígito), y el número de probeta de dicho pastón (segundo dígito).

Los ensayos se realizaron a los 28 días después de su elaboración. En la Tabla 3 se exponen los resultados obtenidos, y la resistencia media correspondiente a cada pastón.

PROBETA	P	σ	f'cmr
	[KN]	[Mpa]	[Mpa]
1.1	252,935	32,20	32,02
1.2	265,608	33,82	
1.3	240,291	30,59	
1.4	247,017	31,45	
2.1	281,398	35,83	35,19
2.2	298,699	38,03	
2.3	257,557	32,79	
2.4	268,006	34,12	
3.1	285,355	36,33	34,07
3.2	279,865	35,63	
3.3	248,431	31,63	
3.4	256,804	32,70	
4.1	253,491	32,28	33,12
4.2	263,853	33,59	
4.3	260,379	33,15	
4.4	262,844	33,47	

Tabla 3 - Resultados de ensayos a compresión de probetas cilíndricas de hormigón

Se obtuvieron adicionalmente con una probeta de cada pastón, las curvas de tensión vs desplazamiento correspondientes. Las mismas se presentan superpuestas en un único gráfico en la Figura 3.

En el gráfico puede observarse una muy leve diferencia entre las cargas últimas alcanzadas. En cambio se aprecia que las probetas que contienen fibras de acero tienen una pérdida de resistencia posterior a la rotura más controlada y gradual con respecto a la probeta que no contiene fibras de acero. Esta diferencia es esperable ya que el aporte de las fibras de acero se produce una vez que comienza la fisuración del hormigón, interceptando las fisuras y ayudando a mantener la integridad de la probeta, trabajando las mismas a tracción.

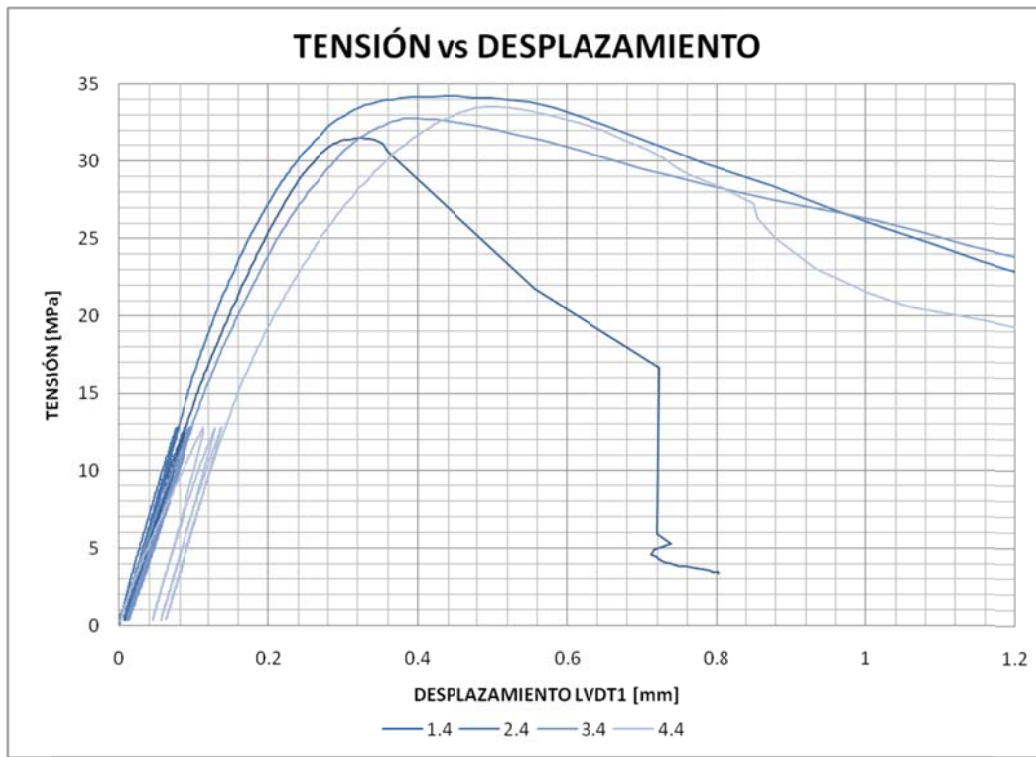


Figura 3. Curvas Tensión-Desplazamiento

3.2.2 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD⁵

Durante el ensayo de compresión se dispuso adicionalmente un compresómetro a una probeta por cada pastón; necesario para determinar el módulo de elasticidad del hormigón. El compresómetro está constituido por dos anillos metálicos fijados al espécimen, en los que se dispone un dispositivo que permite medir la variación en su separación a lo largo del ensayo. Dividiendo esta medida en la separación inicial de los anillos se calcula la deformación longitudinal unitaria de la probeta.

Durante la ejecución de los ensayos se realizaron tres ciclos de carga y descarga hasta alcanzar una carga aproximada de 100 kN (12 MPa de tensión) antes de llevar la probeta a la rotura.

Los valores del Módulo de Elasticidad resultaron:

- P1: $E \approx 30000$ MPa
- P2: $E \approx 35000$ MPa
- P3: $E \approx 29200$ MPa
- P4: $E \approx 32000$ MPa

3.2.3 ENSAYO A FLEXION DE VIGAS RILEM⁶

Este ensayo se realizó conforme a lo especificado en RILEM TC 162-TDF⁶. Consiste en ensayar vigas prismáticas simplemente apoyadas a las que se les efectúa una entalla en la sección central y se les aplica una carga en el centro de la luz. Las dimensiones de los especímenes ensayados fueron de 600 mm de longitud, una sección transversal de 150x150 mm y una altura útil de 125 mm en la sección entallada. La luz de apoyo fue de 500 mm. El modelo de la viga realizada para el ensayo puede verse en la Figura 4.

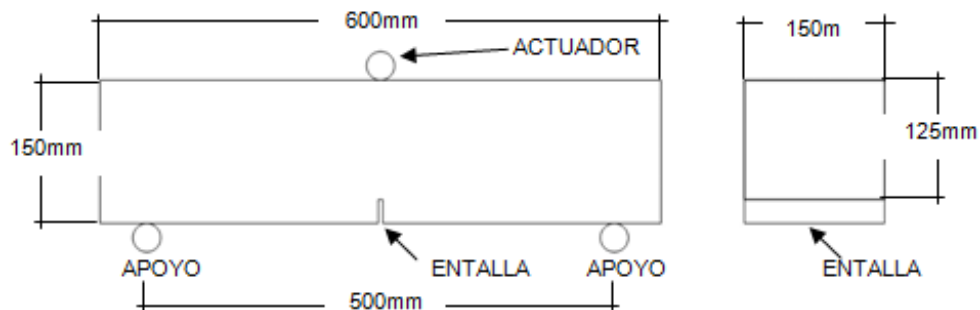


Figura 4. Detalles de vigas y disposición de apoyos

Durante la ejecución del ensayo se registró la flecha mediante dos LVDT de 5 mm de rango y sensibilidad de 0,5 μm , dispuestos cada uno sobre reglas en las caras laterales de la viga, que permitieron obtener la flecha relativa al espécimen como el promedio de lecturas de ambos instrumentos. También se midió la apertura de los bordes de la entalla (CMOD), mediante otro LVDT similar, dispuesto en la cara inferior y fijado a ambos lados de la entalla.

Los resultados obtenidos en los ensayos de flexión de la viga 3 (perteneciente al pastón 3, con 40 Kg/m³ de fibras) y de la viga 4 (perteneciente al pastón 4, con 60 Kg/m³ de fibras), se exponen en la Tabla 4 y Figura 5.

VIGA	FIBRA [Kg/m ³]	CARGA PICO [KN]	CARGA MÁXIMA [KN]
3	40	13,08	13,93
4	60	11,39	15,46

Tabla 4 - Resultado de ensayos

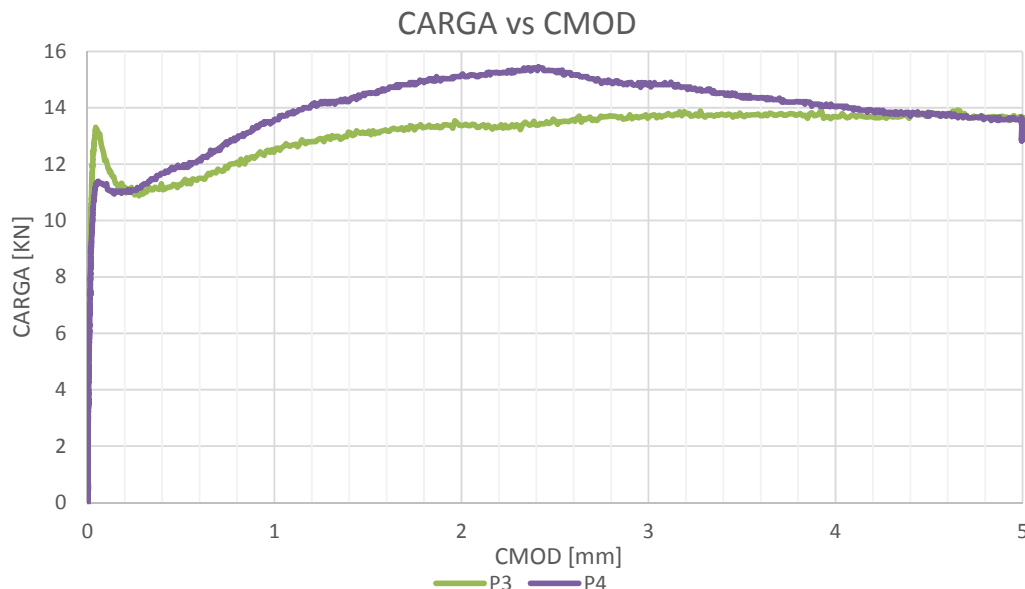


Figura 5. Gráfico Carga-Apertura de la entalla (CMOD) de las vigas ensayadas

Puede observarse que la carga pico de la viga 3 es un poco mayor que la carga pico de la viga 4. Luego de alcanzar la carga pico se produce un descenso de la carga y luego un endurecimiento debido al trabajo de las fibras. La carga máxima alcanzada en esta segunda etapa es superior a la carga pico en ambos casos, y mayor aún en la viga 4. Se observa también que la resistencia residual se mantiene hasta los 5 mm de apertura de fisura (CMOD) aproximadamente en la viga 3, mientras que en la viga 4 esta resistencia se mantiene incluso una vez alcanzados los 5 mm de CMOD.

3.3. FIBRAS DE ACERO

Las fibras que se utilizaron en este trabajo como refuerzo del hormigón fueron fibras de alambre de acero trefilado marca Maccaferri, tipo Wirand FF3.

En la Tabla 5 se resumen las características de este tipo de fibras.

FIBRA	DIMENSIONES			CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
	Diámetro D [mm]	Largo L [mm]	Esbeltez L/D	Tensión de ruptura por tracción Rm [MPa]	Elongación a la ruptura Δl [%]
Wirand FF3	0,75	50	67	>1100	0,04

Tabla 5 - Características de las fibras de acero Wirand FF3

La forma que posee la fibra utilizada, con el doblé en las puntas, mejora la adherencia de la misma con la matriz de hormigón. Puede observarse la forma de la fibra utilizada en la Figura 6.

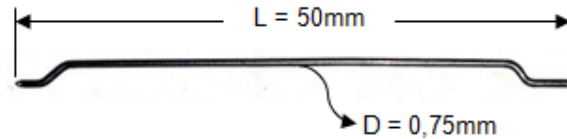


Figura 6. Fotografía de una fibra Wirand FF3

4. MONTAJE Y ENSAYO

El sistema de apoyo se materializa como un apoyo simple a lo largo de todo el perímetro del espécimen, colocando un marco metálico rígido sobre la cara traccionada de la placa que fue anclada a la losa reactiva del laboratorio mediante barras de acero de 1" (25,4 mm) de diámetro. En la Figura 1 se muestra el esquema del montaje de los especímenes y el sistema de apoyo adoptado.

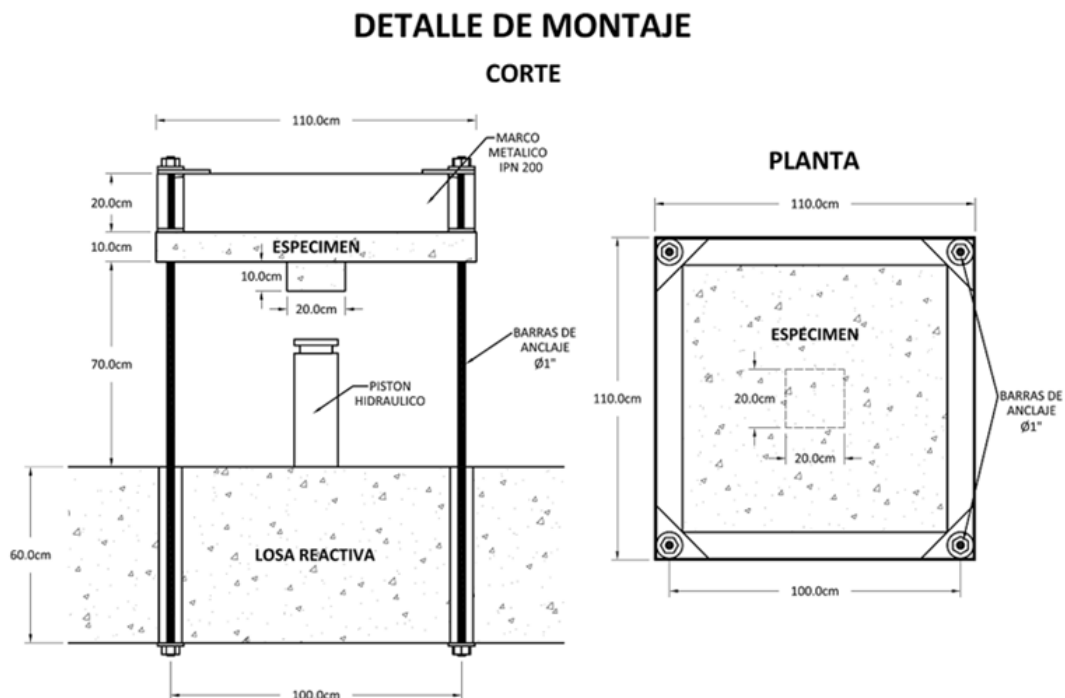


Figura 7. Detalle del montaje del ensayo



Figura 8. Vista del montaje del ensayo

4.1. COLOCACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los parámetros que se midieron durante el ensayo fueron la carga aplicada y la flecha en el centro de los especímenes. Para lograrlo se colocaron los siguientes instrumentos:

Medición de la carga: para registrar la carga aplicada en el prototipo se colocaron dos celdas de carga marca BSL. y como control se registraron además las lecturas del manómetro de la bomba del actuador hidráulico.

Medición de la flecha: a los fines de registrar la flecha durante el ensayo se utilizaron dos transductores potenciométricos de desplazamiento con rango de 50 mm.

Los transductores se montaron sobre dos reglas metálicas fijadas al marco de apoyo en direcciones perpendiculares. Los extremos de dichas reglas se apoyaron de tal manera que se permita el giro y el desplazamiento horizontal para no afectar la medición de los instrumentos.

Uno de los transductores se apoyó sobre el centro de los especímenes. Esta medición fue la que se utilizó para la confección de los diagramas carga-desplazamiento. El otro transductor se fijó en la regla perpendicular y se apoyó lo más cerca posible del primero, con el objetivo de controlar la medición de la flecha.

4.2. EJECUCION DEL ENSAYO

El ensayo a punzonamiento consiste en llevar a la rotura el espécimen, registrando la variación de la carga aplicada, los desplazamientos correspondientes y todas las

particularidades que se observen durante el mismo.

Una vez que todos los instrumentos de medición estuvieron colocados, se comienza a bombear aceite al pistón hidráulico, desplazando el actuador del mismo, hasta que la carga registrada por el transductor de presión es aproximadamente igual al peso del conjunto (espécimen + marco metálico); momento en el cual el espécimen se encuentra apoyado únicamente sobre el actuador. En este punto se inicia el registro de cargas de las celdas y de desplazamientos.

La aplicación de la carga continúa mediante el bombeo manual de aceite al pistón. Se realiza en primera instancia una carga y descarga inicial de 30KN. Luego se procede a aumentar la carga aplicada progresivamente para que la velocidad de carga oscile entre 2,5 KN/min y 4,0 KN/min.

Durante el ensayo se realizan determinadas pausas, manteniendo el valor de la carga constante, con el fin de remarcar las fisuras que se producen y facilitar su identificación.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Curva Carga – Desplazamiento:

Con los valores obtenidos se construyen las curvas carga-desplazamiento de los diferentes prototipos ensayados. Las curvas se presentan en la figura 9.

Puede observarse como el comportamiento de la placa elaborada sin fibras de acero es diferente respecto a aquellas que tienen adición de fibras. Esta diferencia se encuentra mayormente marcada luego de alcanzar las respectivas cargas pico. El comportamiento de los especímenes antes de alcanzar la carga pico es muy similar, como así también el valor de dicha carga según corresponda a armadura con Ø8 o Ø10.

Para armadura Ø10, en la Placa 1-10 se alcanza la carga pico de 243 KN, correspondiente a una deformación de 9,14mm y se produce luego una súbita pérdida de resistencia, sin registrarse carga residual. En cambio en las placas elaboradas con fibras de acero la carga pico alcanza valores muy similares pero se visualiza la pérdida de resistencia post-pico notablemente más controlada y gradual, resaltando en este fenómeno la Placa 4-10. La curva de estos especímenes con Ø10 presenta una carga residual, alcanzando 109 KN con 44,6 mm para desplazamiento la Placa 2-10; y en la Placa 3-10 se alcanza una carga residual de 99,4 KN para 45 mm de desplazamiento, y la Placa 4-10 alcanza una carga residual de 102 KN pero para un desplazamiento de 48,4 mm.

La carga pico resulta menor cuando la armadura es Ø8 y se alcanza la la mayor carga para la Placa 3-8 de 216,7 KN correspondiente a una flecha de 19,44 mm; seguido por la Placa 4-8 alcanzándose una carga pico de 211,9 KN para una flecha de 15,94 mm; y por último la Placa 2-8 con una carga pico de 192,9 KN para una flecha de 12,73 mm. Las cargas residuales al final de la curva también son mayores para las placas con fibras, alcanzando entre 90 y 95 KN para las Placas 3-8 y 4-8, y aproximadamente 75 KN para la Placa 2-8.

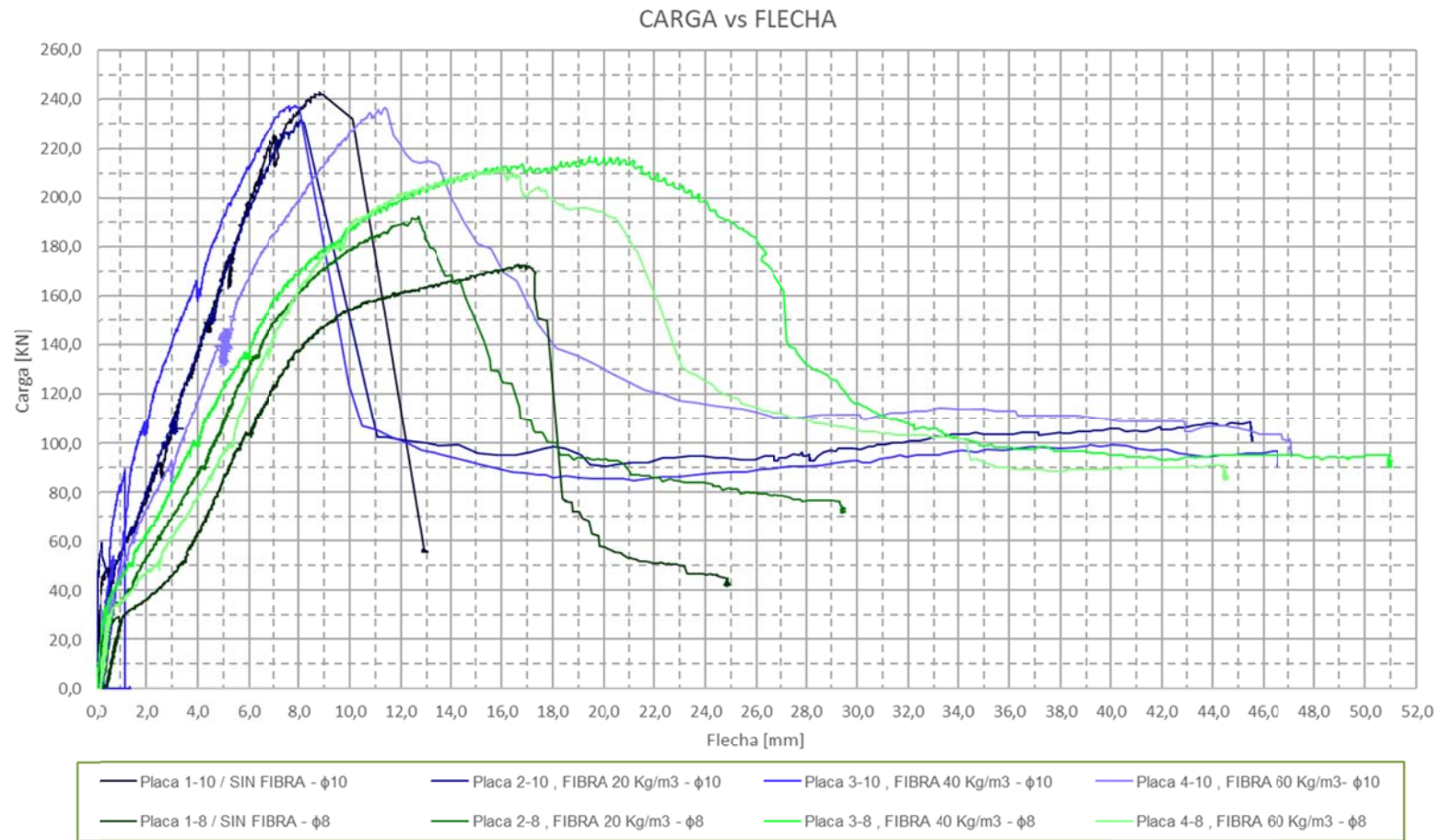


Figura 9. Curvas Carga-Desplazamiento (Flecha) de los cuatro prototipos ensayados

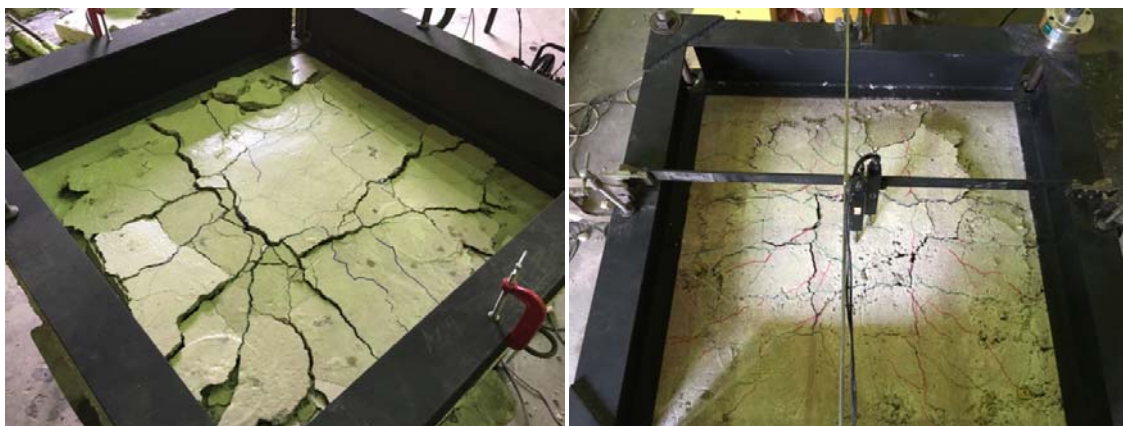
Evaluación de la configuración de rotura

En las siguientes imágenes se muestra la configuración de rotura de los especímenes luego de ser ensayados. Se continuó desplazando el actuador del pistón hidráulico hasta lograr una flecha de 50 mm en el centro de cada Losa.



Placa 1-8 (sin fibra)

Placa 4-8 (60 Kg/m³)



Placa 1-10 (sin fibra)

Placa 4-10 (60 Kg/m³)

Figura 10. Configuración de Rotura

En los especímenes de las placas 1 que no están elaborados con fibras de acero la rotura es más frágil la cual se presenta con fisuras de tamaños considerables, y desprendimiento de material, pronunciándose estos fenómenos en el espécimen de Placa 1-10 que posee una mayor cuantía de armadura.

No obstante, a medida que aumenta la cantidad de fibras en los prototipos restantes, se observa que las fisuras son de menor tamaño y la disgregación del hormigón se reduce considerablemente, siendo menor el desprendimiento del material y los elementos desprendidos permanecen unidos al espécimen por las fibras de acero.

Si se tiene en cuenta la cuantía de armadura puede observarse que el diámetro del área de rotura aproximadamente circular, es mayor para aquellas placas que poseen mayor diámetro de armadura, es decir poseen mayor cuantía de armadura.

Conos de rotura

Según [7], el tipo de falla ya sea por punzonamiento, por flexión o mixto, se puede establecer según la inclinación de la superficie de falla. A continuación, se indican los tipos de falla y la inclinación correspondiente a la superficie de falla:

- Falla por punzonamiento $\alpha = 30^\circ$
- Falla por punzonamiento y flexión $30^\circ < \alpha < 90^\circ$
- Falla por flexión $\alpha = 90^\circ$

Luego de llevados a la rotura, se extrajeron y analizaron los conos de rotura de los especímenes. Se exponen a continuación las fotografías realizadas:



Placa 1-10 (sin fibra)

Placa 4-10 (60 Kg/m³)



Placa 1-8 (sin fibra)

Placa 4-8 (60 Kg/m³)

Figura 11. Configuración de Rotura

Puede observarse que en el caso de los conos obtenidos para las placas con mayor cuantía de armadura Ø10, el ángulo de la superficie de falla con respecto a la horizontal es mucho menor, se puede concluir que al aumentar la cuantía adoptada predomina la rotura por punzonamiento. Este fenómeno se ve acentuado cuando el hormigón empleado posee fibras de acero.

Resumen de resultados

ESPECIMEN	FIBRAS		CARGA PICO		FLECHA DE CARGA PICO		CARGA RESIDUAL		FIBRAS EN SUP. DE ROTURA	
	[Kg/m ³]		[KN]		[mm]		[KN]			
	φ8	φ10	φ8	φ10	φ8	φ10	φ8	φ10	φ8	φ10
1	-	-	172,5	243	16,7	9,1	40,0	-	-	-
2	20	-	192,9	231	12,7	7,8	75,0	109	277	100
3	40	-	216,7	237	19,4	7,5	90,0	99,4	712	425
4	60	-	211,9	236	15,9	11,7	90,0	102	909	913

Tabla 6 – Resumen de resultados

6. CONCLUSIONES

Del análisis y comparación de resultados realizados se plantean las siguientes conclusiones sobre el comportamiento de los especímenes y los parámetros intervinientes en el proceso de falla por punzonamiento:

- A partir de las curvas de carga-desplazamiento obtenidas de los ensayos realizados se puede concluir que al aumentar la cuantía de armadura a flexión de un valor de 0,42% (Ø8) a 0,65% (Ø10), la influencia en la carga pico a partir de la incorporación de fibras de acero en el hormigón disminuye. Esto se refleja en que el valor de la carga pico no varía según la cuantía de fibras de acero en la placas con armadura Ø10 como sí ocurre para las placas con Ø8.
- Puede observarse que el comportamiento posterior a la fisuración resulta brusco para el caso de mayor cuantía de armadura de Ø10, resultando una falla frágil, mientras que para Ø8 se genera una caída gradual y controlada de la resistencia. En cuanto a la carga residual que se produce en los especímenes con fibras de acero se observa que se sigue obteniendo una ventaja con respecto a los especímenes que no poseen el agregado de fibras de acero.
- Con respecto al tipo de falla puede concluirse que la cuantía de la armadura a flexión influye en el tipo de rotura que se produce en la losa sometida a punzonamiento. Se observa que los especímenes que poseen una menor cuantía de armadura de flexión presentan una etapa de fluencia antes de llegar a la rotura, confiriéndole mayor ductilidad al sistema estructural; en

cambio en los especímenes diseñados con una mayor cuantía de armadura de flexión no se observaron grandes deformaciones antes de llegar a la falla, por lo que resulta una rotura de tipo frágil.

- Durante el ensayo se observa que el proceso de generación de fisuras no varía en función de las cuantías de armadura de flexión adoptadas. Las fisuras se producen primero en coincidencia con las barras centrales de armadura desde el punto donde se ubica la columna hacia el perímetro. Luego cuando aumenta la carga se generan fisuras diagonales en las esquinas debido a las condiciones de apoyo de los especímenes, y aumenta el ancho de las fisuras antes señaladas. Se observa que el cuadro de fisuración presenta una mayor dispersión en medida que aumenta la cuantía de fibras de acero adoptada.
- Observando las imágenes de la Figura 11 puede comprobarse que en los especímenes ensayados con una mayor cuantía de armadura de flexión, el tipo de falla se produce por punzonamiento, teniendo en cuenta la inclinación de los conos de falla de aproximadamente 30° ; a diferencia que en los especímenes elaborados con menor cuantía que presentaban ángulos de inclinación más cercanos a 90° correspondientes con un tipo de falla por flexión.

7. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se pueden expresar las siguientes recomendaciones:

Desde el punto de vista de la seguridad se recomienda el uso de fibras de acero para la elaboración de hormigones usados en estructuras de entresijos sin vigas ya que mejora su comportamiento posterior a la carga pico, incrementando la ductilidad.

Se remarca que la adición de fibras a la matriz de hormigón reduce notablemente su trabajabilidad, afectando especialmente la etapa de distribución del hormigón; por lo que se recomienda buscar una consistencia fluida de la mezcla y efectuar una correcta compactación para evitar espacios vacíos.

8. AGRADECIMIENTOS

Cabe destacarse que este estudio se llevó a cabo en el Instituto de Estructuras “Alfredo M. Guzmán” de la Universidad nacional de Tucumán y fue financiado por la Secretaría de Ciencia, Arte e Innovación Tecnológica (SCAIT) en el marco del programa PIUNT.

Se agradece también a la firma Maccaferri por la donación de las fibras de acero empleadas en este trabajo.

9. REFERENCIAS

- ¹ Zarzosa A., Gutiérrez S.E., Sfer D., Isla Calderón F.A. Análisis experimental del Punzonamiento en Losas de Hormigón Armado Reforzado con Fibras de Acero. XXIV Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Buenos Aires. 28 al 30 de Septiembre de 2016.
- ² Reglamento CIRSOC 201-2005. “Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón”.
- ³ ACI 211.1. “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight, and Mass Concrete”.
- ⁴ ASTM C 39, 86. Test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. Annual book of ASTM standards, Volume 04.02 Concrete and Agegates (Section 4 Construction).
- ⁵ ASTM C 469, 1987. Standard test method for static modulus of elasticity and Poisson`s ratio of concrete in compression. . Annual book of ASTM standards, Volume 04.02 Concrete and Agegates. (Section 4 Construction).
- ⁶ Rilem TC 162-TDF, 2003. Test and design methods for steel fibre reinforced concrete. Sigma-Epsilon design method. Final recommendation. Materials and Structures, Volumen 36, pp. 560-567.
- ⁷ Menétrey Ph. Synthesis of punching failure in reinforced concrete. Cement & Concrete Composites 24 (2002): 497-507.