



## REFUERZO Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS

### Vigas de hormigón armado reforzadas y /o reparadas con materiales compuestos

S. Echazú Lamas<sup>1,a</sup>, A. Sanchez López<sup>1</sup>, A. Pons<sup>1</sup> y V. Rougier<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería, Tel: (0387) 4255352, Av. Bolivia 5150, Salta, 4400, Salta, Argentina

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Tel/Fax: (03442) 425-541 / 423-803, Ing. Pereira 676, Concepción del Uruguay, E3264BTD, Entre Ríos, Argentina

<sup>a</sup> sechazu@hotmail.com mail, <sup>b</sup>rougierv@frcu.utn.edu.ar

**Palabras-clave:** PRF, Refuerzo externo a flexión y corte, Hormigón dañado y reparado

#### Resumen.

Durante su vida útil, las estructuras de hormigón armado pueden resultar expuestas a cargas mecánicas como así también a agentes agresivos químicos o térmicos que produzcan la degradación de sus propiedades mecánicas y la consiguiente pérdida de seguridad. En consecuencia y a los efectos de preservar las condiciones de serviciabilidad se hace necesario la pronta reparación y/o refuerzo. En cualquier caso los polímeros reforzados con fibras (PRF) o materiales compuestos representan una excelente opción a ser usada debido a su elevada resistencia a tracción, bajo peso y fácil colocación. Cuando se usan como refuerzo externo de vigas de hormigón armado y si se elige la configuración adecuada, mejoran la resistencia a flexión y corte.

En este trabajo se presenta un análisis experimental y analítico del comportamiento a flexión y corte de vigas de hormigón armado reforzadas con PRF. Se adoptan dos esquemas de refuerzo, para los dos tipos de sollicitación mencionados y se evalúa la eficiencia de los mismos en lo que respecta a aumento de rigidez y capacidad resistente última de los elementos reforzados. Se analizan también modos de falla y el comportamiento de piezas dañadas y reparadas con dichos materiales. Los ensayos demuestran la recuperación de la capacidad portante del hormigón dañado y el incremento de resistencia de las vigas reforzadas.

#### Introducción

Las vigas de hormigón armado fallan generalmente por flexión o corte. La falla por flexión es generalmente preferida a la de corte, pues es más dúctil y ello permite una redistribución de tensiones, además de proporcionar mayor seguridad a los ocupantes. Una rotura frágil, como la de corte, suele ser repentina y catastrófica. Es menos predecible, pues no da indicios de daño



antes de la falla [1].

Investigaciones recientes han demostrado que el refuerzo con polímeros reforzados con fibras (PRF) mejora la resistencia a flexión y/o corte de vigas de hormigón armado que por diferentes razones han sufrido pérdida de su capacidad resistente frente a uno o ambos tipos de solicitaciones. Dicho sistema de refuerzo representa una alternativa liviana y efectiva a los materiales de construcción tradicional con excelentes potenciales en áreas donde aquéllos han fallado. Sin embargo y para mejorar las técnicas de intervención resulta necesario evaluar diferentes aspectos de la reparación y/o refuerzo con PRF, tales como formas de colocación, anclaje y cantidad óptima de refuerzo a ser aplicado, así como también lograr una mejor comprensión del comportamiento y modos de falla de elementos reforzados con estos materiales.

En este trabajo se analizan experimentalmente los aspectos más importantes del comportamiento a flexión y corte de vigas de hormigón armado reforzadas y/o reparadas con PRF en lo que respecta a modos de falla, mejora y/o recuperación de la capacidad portante inicial y diagramas carga-desplazamiento.

En primer lugar, se describen diferentes aspectos del comportamiento a flexión y corte de vigas de hormigón armado reforzadas con PRF. Luego se presenta el programa experimental llevado a cabo y los resultados obtenidos.

### **Refuerzo a flexión**

El refuerzo a flexión de una viga de hormigón armado con PRFs se hace simplemente adhiriendo la placa o lámina de material compuesto a la parte inferior de la viga, donde se supone se producirán los esfuerzos de tracción. Para ello la superficie del hormigón a reforzar debe estar convenientemente preparada, esto es libre de polvos y grasas e irregularidades. El refuerzo puede hacerse con placas prefabricadas o puede ser preparado in situ mediante el proceso denominado húmedo. En el primer caso las placas se cortan de acuerdo al tamaño requerido y se pegan a la parte inferior de la viga. El proceso húmedo es quizás el más utilizado y proporciona mayor flexibilidad. La resina se aplica a la superficie del hormigón mientras se impregnan las capas de tejido que luego son adheridas al elemento de hormigón mediante rodillos [2]. En la Fig. 1 a y b se pueden ver los dos esquemas de refuerzo mencionados precedentemente.

Las placas o planchuelas prefabricadas pueden ser pretensadas y adheridas a la viga de hormigón. La principal ventaja de este sistema es que contribuye a la capacidad de carga de la estructura antes de que se apliquen a la misma las cargas adicionales. El pretensado también contribuye a reducir el ancho de las fisuras y lleva a un uso más eficiente de los PRFs, pues es muy probable que la placa pretensada de PRF alcance su resistencia última en la falla. Sin embargo el pretensado, es una tarea laboriosa y el sistema de anclaje requiere un diseño y construcción muy cuidadoso [3].



a



b

Figura 1: Esquema de refuerzo a flexión: a) placas prefabricadas; b) laminado preparado in situ mediante proceso húmedo.

En general las vigas de hormigón armado reforzadas con PRF tienen un tipo de falla frágil y repentina, lo cual impide que puedan alcanzar su resistencia última a flexión.

De acuerdo a numerosos estudios experimentales, los modos de falla de una viga de hormigón armado reforzada a flexión con PRF, se clasifican en siete categorías (Fig. 2 (a)) falla por flexión producida por la rotura del hormigón en la zona de compresión; b) falla por rotura del PRF; c) falla por corte, d) desprendimiento del recubrimiento de hormigón; e) despegue del extremo final del refuerzo; f) despegue del refuerzo de PRF inducido por fisura de flexión; g) despegue del refuerzo de PRF inducido por fisura de corte.

Todos los modos de falla identificados, excepto el f) y g), ocurren de manera frágil y repentina, en particular el modo de rotura e) [2].

De todos los posibles modos de falla, la ACI 440.2R-02 [4] recomienda la falla por aplastamiento del hormigón, como el tipo de rotura más aceptable.

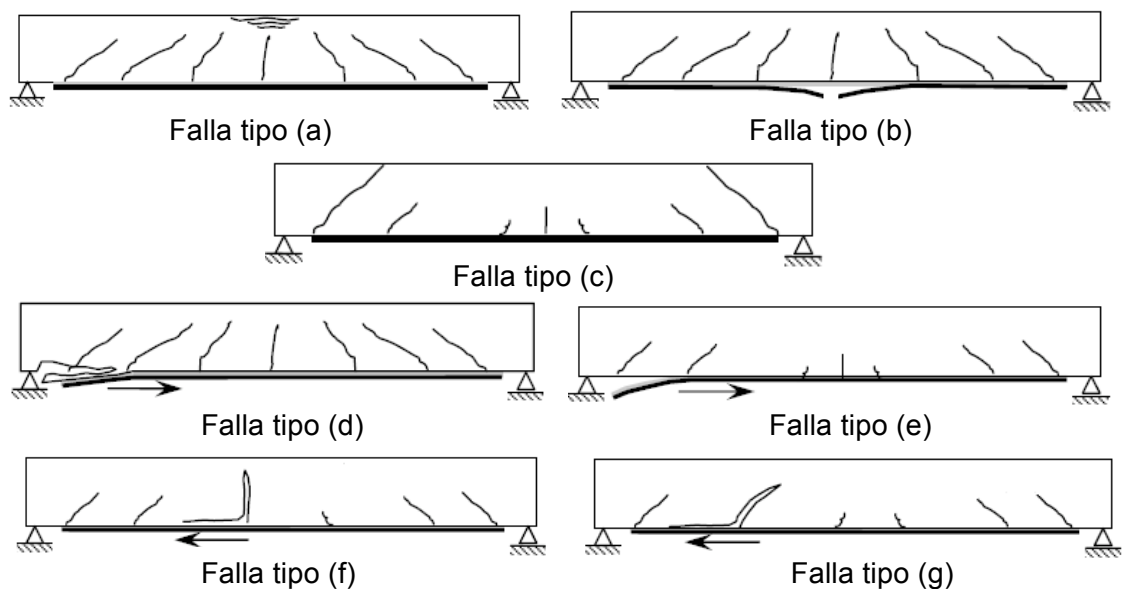


Figura 2: Tipos de falla de vigas de hormigón armado reforzadas con PRFs [5]



Si los extremos de la planchuela de refuerzo se encuentran convenientemente anclados, la resistencia última a flexión se alcanza por aplastamiento del hormigón comprimido o cuando falla el refuerzo de PRF (falla tipo (a) y (b), Fig. 2). La rotura del PRF ocurre generalmente luego de la fluencia de las barras longitudinales de acero.

La falla por corte o tipo (c), Fig. 2, es una rotura frágil, lo cual puede ser crítico en el caso de refuerzo a flexión. En tales casos, la capacidad de corte de la viga no reforzada determina su resistencia al corte, mientras que el refuerzo a flexión con PRF proporciona una pequeña contribución a dicha resistencia [2].

La rotura por desprendimiento del recubrimiento de hormigón (falla tipo (d), Fig. 2) se produce por concentración de tensiones cerca de los extremos de la placa de refuerzo. Una vez que la fisura se forma en o cerca del extremo final del refuerzo, se propaga hasta el nivel de la armadura de acero y luego progresa horizontalmente a lo largo de dicho refuerzo, provocando la separación del recubrimiento de hormigón [2].

En el tipo de falla (e) o despegue del extremo final del refuerzo, Fig. 2, se produce el despegue entre el adhesivo y la viga. En general este modo de falla se produce debido a altas tensiones interfaciales normales y de corte cerca del extremo del refuerzo, que exceden la resistencia del elemento más débil, en la mayoría de los casos el hormigón. Luego de producido el despegue, generalmente una capa delgada de hormigón permanece adherida a la placa de PRF. Ello sugiere que la falla ocurre en el hormigón adyacente a la interfaz hormigón-adhesivo [6].

En caso del tipo de falla f, Fig. 2, el despegue puede iniciarse por una fisura de flexión o una mixta de flexión y corte y luego propagarse hacia uno de los extremos de la placa de PRF. El despegue generalmente ocurre en la capa de hormigón adyacente a la interfaz hormigón-adhesivo [2].

Este tipo de falla raramente se ha observado en trabajos experimentales. Probablemente ocurre en vigas de poca altura y es más dúctil que el modo de rotura por corte o tipo (c) [2].

El mecanismo de rotura tipo (g), Fig. 2, puede ser descrito del siguiente modo: cuanto mayor es la fisura formada en el hormigón, las tensiones de tracción generadas por el hormigón fisurado se transfieren a la placa o lámina de PRF. En consecuencia se producen tensiones interfaciales locales muy altas entre el refuerzo y el hormigón en las cercanías de la fisura. Con el incremento de la carga aplicada, las tensiones de tracción en el refuerzo y las tensiones interfaciales entre el hormigón y aquél en las cercanías de la fisura también aumentan. Cuando estas tensiones alcanzan valores críticos, se inicia el despegue del refuerzo en la fisura y se propaga hacia uno de los extremos del mismo [2].

### **Refuerzo a corte**

En general para incrementar la resistencia a corte de vigas de hormigón armado se suelen utilizar diversos esquemas de refuerzo. Estos incluyen pegado de PRF en ambos lados de la viga, aplicación de esquemas en forma de U envolviendo los laterales y la cara traccionada y envolturas de PRF



cubriendo toda la sección transversal de la viga. Se usan tanto bandas de cierto ancho como láminas continuas, Fig. 3 [7].

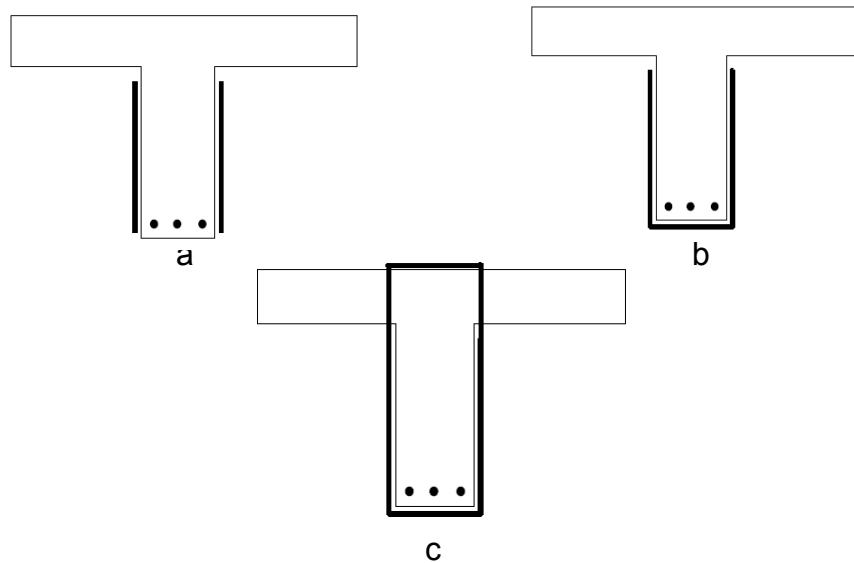


Figura 3: Esquemas de refuerzo a corte: a) Refuerzo adherido a las caras laterales, b) Envoltura en U; c) Envoltura completa [7]

Debido a que los PRFs sólo tienen alta resistencia en la dirección de las fibras, las mismas deben ser orientadas en las direcciones que controlen mejor las fisuras de corte. Además se debe tener en cuenta que las fuerzas de corte pueden ser reversibles, por ejemplo bajo cargas cíclicas o eventos sísmicos. La combinación de diferentes configuraciones, orientación y distribución de las fibras da lugar a variados esquemas de refuerzo. Ejemplos de los mismos se pueden ver en la Fig. 4, [2].

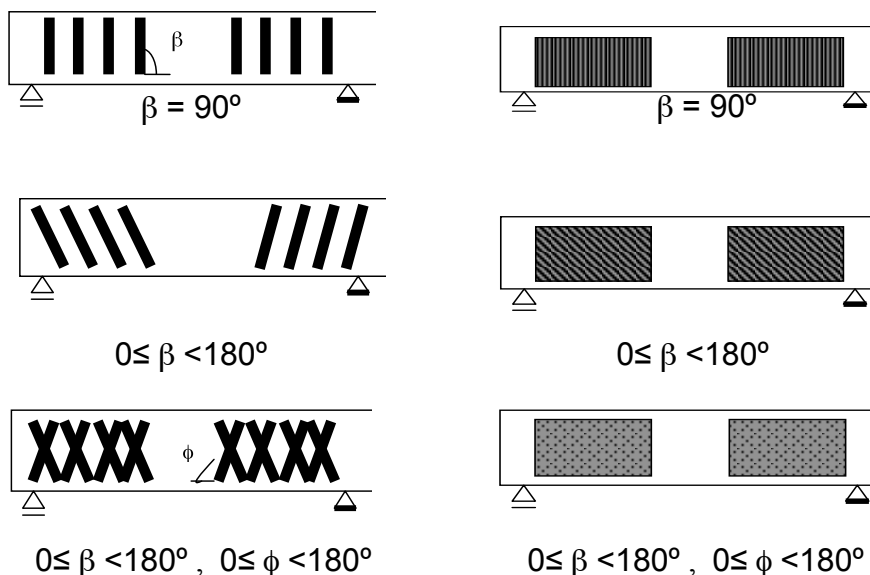


Figura 4: Diferentes esquemas de refuerzo a corte. Distribución y orientación de las fibras [2]



Los modos de falla observados en ensayos de vigas reforzadas a corte incluyen rotura del PRF, falla por corte sin rotura del refuerzo y falla por corte debida al despegue del PRF.

El primer tipo de falla ocurre muy a menudo con una fisura de corte por tracción diagonal (Fig. 5 a, [8]). La rotura del PRF se propaga a lo largo de la fisura diagonal de corte en el hormigón, provocando la falla total de la viga de manera frágil.

La falla por corte sin rotura del PRF es esencialmente la misma que la del apartado anterior, excepto que el PRF no se rompe y puede aún soportar una carga significativa luego de la falla del hormigón (Fig. 5 b, [8]).

En el caso de la falla por corte debido al despegue del PRF, una vez que el PRF comienza a despegarse, la viga falla rápidamente. La ductilidad de las vigas que rompen de esta manera es muy limitada (Fig. 5 c, [9]).

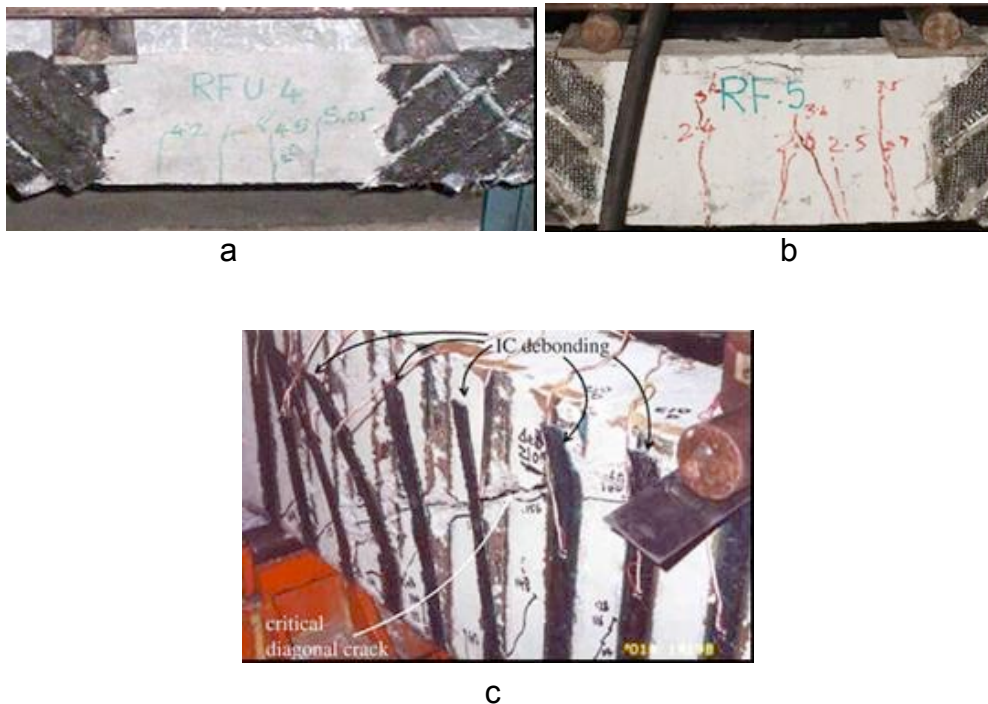


Figura 5: Fallas por corte: a) Falla con rotura de PRF [6]; b) Falla sin rotura del PRF [8]; c) Falla debida al despegue del PRF [9]

## Programa Experimental

### Introducción

El programa experimental se llevó a cabo mediante ensayos de flexión en cuatro puntos de vigas de hormigón armado sin reforzar y reforzadas externamente con polímeros reforzados con fibras de carbono (PRFC). Se ensayaron dos grupos de vigas, denominados G1 y G2, cuyas características se resumen en la Tabla 1. El grupo G1 incluye una viga sin refuerzo externo, denominada de referencia o control, una viga reforzada a flexión con planchuelas de PRFC y un espécimen dañado y reparado con el mismo material. El grupo G2 comprende una viga de referencia, un espécimen



reforzado a flexión y corte con planchuelas de PRFC y una probeta dañada y reparada flexión y corte con el mismo sistema de refuerzo. Todas las vigas se diseñaron con la misma sección transversal (150 mm x 100 mm) y armadura longitudinal (2  $\phi$  del 8 mm, armadura principal y 2  $\phi$  del 6 mm, armadura constructiva) y la misma calidad de hormigón y acero. Para la armadura transversal se adoptaron  $\phi$  del 4.2 mm cada 75 mm para el grupo G1 y  $\phi$  del 4.2 mm cada 150 mm para el grupo G2. En la Fig. 6 se puede ver el detalle constructivo de las vigas.

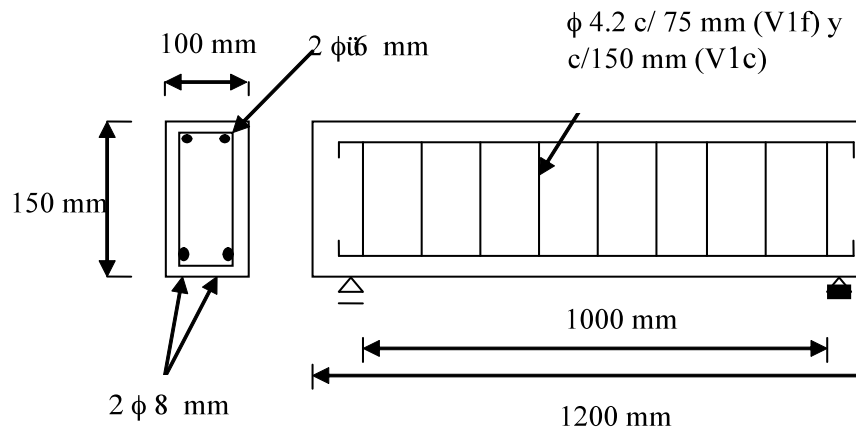


Figura 6: Detalle de viga de hormigón

Tabla 1: Características y denominaciones de las vigas ensayadas

Grupo	$A_l$	$A_t$	Designación	Descripción
G 1	2 $\phi$ 8 mm	$\phi$ 4.2 c/ 75 mm	V1f-referencia	Sin refuerzo
			V2f-reforzada	Reforzada con PRFC a flexión
			V1f-reparada	Reparada con PRFC a flexión
G 2	2 $\phi$ 8 mm	$\phi$ 4.2 c/ 150 mm	V1c-referencia	Sin refuerzo
			V2c-reforzada*	Reforzada con PRFC a flexión y corte
			V1c-reparada	Reparada con PRFC a flexión y corte

$A_l$ : Armadura Longitudinal,  $A_t$ : Armadura Transversal

\*No se tuvo en cuenta para el análisis pues problemas en el sistema de medición de los desplazamientos impidieron tomar registro de los mismos.

### Materiales

A continuación se describen brevemente las características de los materiales, utilizados en el programa experimental.



### *Hormigón y acero*

El hormigón empleado en la ejecución de las vigas se dosificó en función de obtener una resistencia característica a compresión uniaxial a los 14 días de 13 MPa. Para ello se utilizó un acelerante de fragüe sin cloruros para morteros y hormigones. Se trabajó con agregados de la zona y cemento Portland normal.

Las características mecánicas del hormigón se determinaron mediante ensayos de compresión uniaxial sobre probetas cilíndricas de 150 x 300 mm, según norma IRAM 1534 [10].

Para las armaduras principal y constructiva se empleó acero de Dureza Natural Acindar denominado comercialmente DN A-42. Para los estribos se usó acero tipo T 500 de diámetro nominal 4.2 mm

### *Sistema de refuerzo con FRPs*

Para el refuerzo externo de las vigas se emplearon láminas de polímeros reforzados con fibra de carbono de alto desempeño que se adhieren externamente a la superficie del hormigón mediante el empleo de una formulación epoxídica. En las Tablas 2 y 3 se muestran las propiedades mecánicas del adhesivo epoxi y de la lámina de PRFC utilizados para el refuerzo.

Tabla 2: propiedades mecánicas del adhesivo epoxi

Módulo de elasticidad [MPa]	Adherencia al hormigón [MPa]	Resistencia a compresión [MPa]
12800	3	95

Tabla 3: propiedades mecánicas de la lámina de PRFC

Módulo de elasticidad [MPa]	Resistencia tracción longitudinal [MPa]	Resistencia a compresión [MPa]	Deformación específica longitudinal [%]	Espesor [mm]	Ancho [mm]
165000	2800	95	1.7	1.2	50

La técnica de refuerzo y/o reparación se realizó adhiriendo las planchuelas de PRFC a la superficie inferior de las vigas previamente imprimadas con resina. Antes de la colocación del material de refuerzo, las superficies de los especímenes fueron cuidadosamente pulidas con cepillo de cerdas de acero a los efectos de eliminar polvo y cualquier imperfección superficial. Finalmente y para dejarlos perfectamente limpios, se aplicó aire con un compresor. Se colocó una sola capa de refuerzo de 1.2 mm de espesor. En la Fig. 7 se pueden ver las diferentes etapas del proceso de refuerzo y / o reparación con PRFC: (a) marcado y corte de la lámina de PRFC, (b) aplicación del adhesivo epoxi a la lámina de PRFC, (c) impregnación de la superficie limpia del hormigón con la formulación epoxídica, (d) colocación del refuerzo.



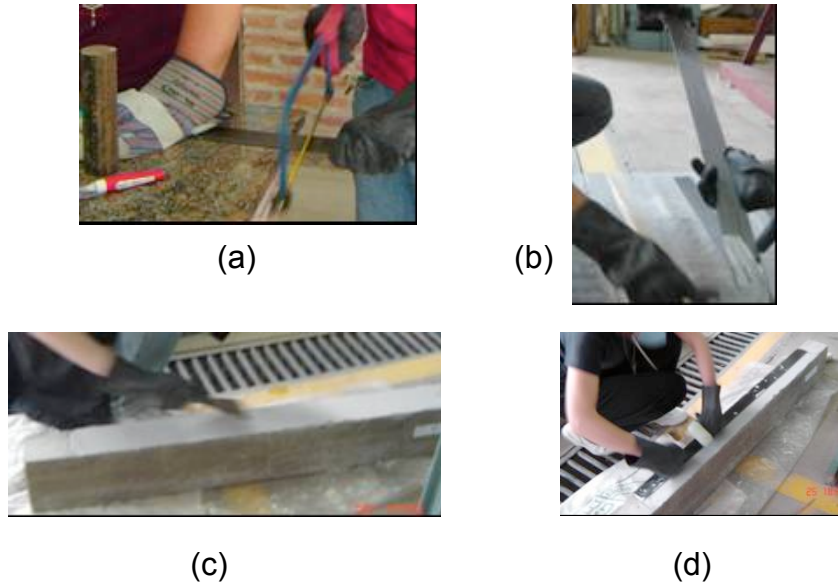


Figura 7: Refuerzo con láminas de PRFC

### Procedimiento de ensayo e instrumentación

En la Fig. 8 a se muestra el esquema de ensayo e instrumentación de una viga sin refuerzo, denominada viga de referencia. En la misma Figura se representan las condiciones de carga y apoyo, Fig. 8 b.

Los dos grupos de vigas se ensayaron a flexión hasta alcanzar la rotura, utilizando un marco de carga de 500 kN. Se aplicó una carga cuasiestática monótona creciente en el punto medio de la viga metálica de distribución y se midió la fuerza aplicada a través de una celda de carga. Se determinaron además, los desplazamientos del punto central de los especímenes empleándose para ello un reloj comparador (flexímetro) con una sensibilidad de 0.001mm.

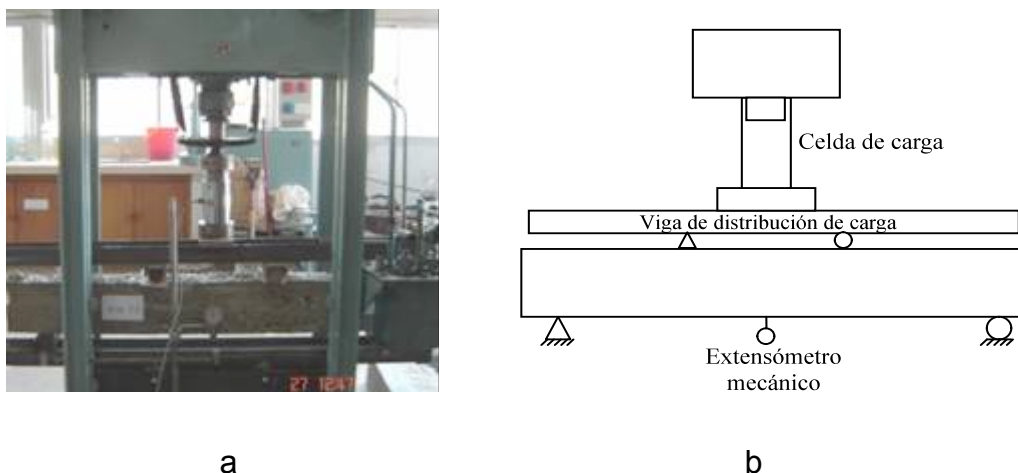


Figura 8: Ensayo a flexión de vigas: a) Viga de referencia; b) Esquema de carga y condiciones de apoyo



### Refuerzo a Flexión

El refuerzo y reparación a flexión de las vigas del grupo G1 consistió en la colocación de dos láminas de PRFC de 50 mm de ancho y 1.2 mm de espesor en la cara traccionada y de modo de cubrir todo el ancho de los especímenes. La viga reparada, identificada en la Tabla 1 como V1f-reparada, se preparó a partir de la viga de referencia (V1f-referencia) la cual se llevó hasta su estado último, luego se retiró la carga y se reparó según el mismo esquema de refuerzo, Fig. 9.

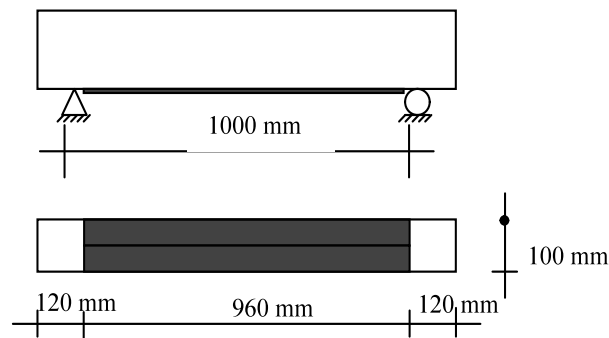


Figura 9: Esquema de refuerzo a flexión

### Resultados

En la Fig. 10 se representan las curvas carga-desplazamiento ( $P-\delta$ ) de las vigas reforzadas y/o reparadas a flexión y la comparación con un espécimen sin reforzar. En la Tabla 4 se presentan los valores de carga y desplazamiento máximo y desplazamiento correspondiente al máximo valor de carga alcanzados por los tres especímenes ensayados.

En el caso de la viga de referencia V1f, se observa un primer escalón de deformaciones con cargas pequeñas que corresponde al acomodamiento del cuadro de carga, un período elástico hasta el punto I donde aparecen las primeras fisuras de flexión en el centro de la viga y que se profundizan al aumentar la carga. Luego en el punto II aparecen pequeñas fisuras de corte en las cercanías del apoyo. En el próximo escalón de carga se observa una caída de la resistencia hasta llegar a la rotura final por aumento de las fisuras de corte en el apoyo.

La viga V2f reforzada con planchuelas de PRFC presenta un tipo de falla frágil, por corte. En el punto III del diagrama ( $P-\delta$ ), Fig. 10, se producen las primeras fisuras, que se profundizan en el punto IV, llegando a la rotura en su carga máxima y sin observarse ningún período plástico. La carga de falla es un 53 % superior a la carga de rotura de la viga V1f de control o referencia. Sin embargo el desplazamiento máximo alcanzado es un 19 % menor, ver valores en Tabla 4.

La viga V1f dañada y reparada con planchuelas de PRFC presenta un comportamiento similar a la viga V2f-reforzada, pero con una mayor capacidad de deformación a iguales niveles de carga y menor rigidez. La carga máxima alcanzada fue tan solo un 1.9 % inferior a la obtenida en el caso de la viga reforzada (V2f-reforzada). El punto V en la gráfica  $P-\delta$  indica el valor máximo



de carga alcanzado, coincidente con el aumento de las fisuras ya existentes en la viga. Dichas fisuras se profundizan sin aumentar la resistencia hasta producirse la rotura.

Con respecto a la viga V1f-referencia, y como se puede ver en la Fig. 10, la reparación con PRFC permitió no sólo recuperar la capacidad resistente inicial sino también superarla en un 50 % aproximadamente.

En la Fig. 11 a y b se puede ver el patrón de fisuras registrado en las vigas V1f-referencia y V2f-reforzada, respectivamente. La viga V1f-referencia presenta un patrón de fisuras típico de este tipo de solicitación. Una vez superado el período elástico aparecen las primeras fisuras de flexión en el centro de la luz de la viga, que luego se profundizan. Finalmente, aparecen las fisuras de corte hasta producirse la falla del elemento (Fig. 11 a). En tanto que en el caso de la viga V2f-reforzada se observa una falla con predominio de fisuras de corte y al alcanzar la carga última se produce el despegue del extremo final de la lámina CFRP (Fig. 11 b). También se observan fisuras en la zona de contacto entre adhesivo y hormigón.

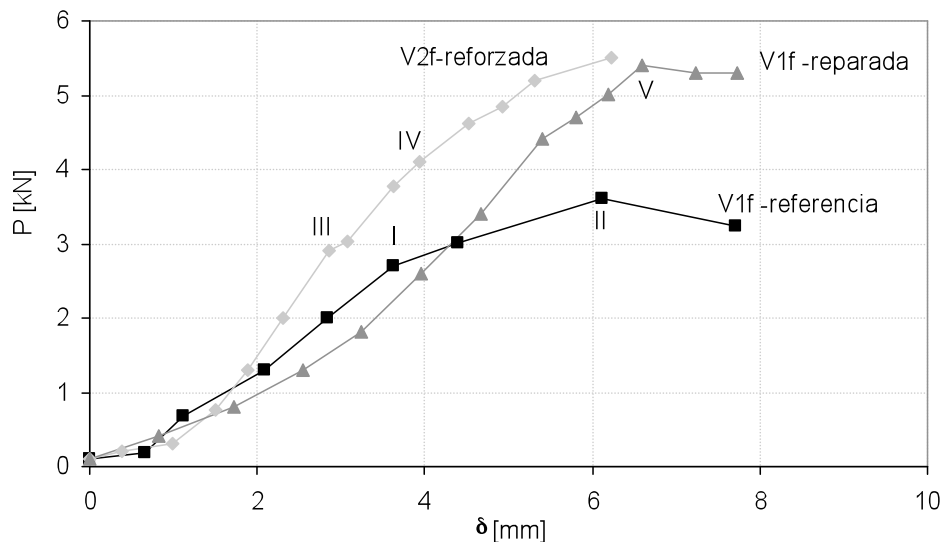


Figura 10: Curvas carga-desplazamientos de vigas de hormigón armado reforzadas y reparadas con PRFC. Comparación con espécimen sin reforzar

Tabla 4: Resultados experimentales

Espécimen	$P_{m\acute{a}x.}$ (kN)	$\delta [P_{m\acute{a}x.}]$ (mm)	$\delta_{m\acute{a}x.}$ (mm)
V1f-referencia	3.605	6.11	7.71
V2f-reforzada	5.505	6.23	6.23
V1f-reparada	5.403	6.60	7.72

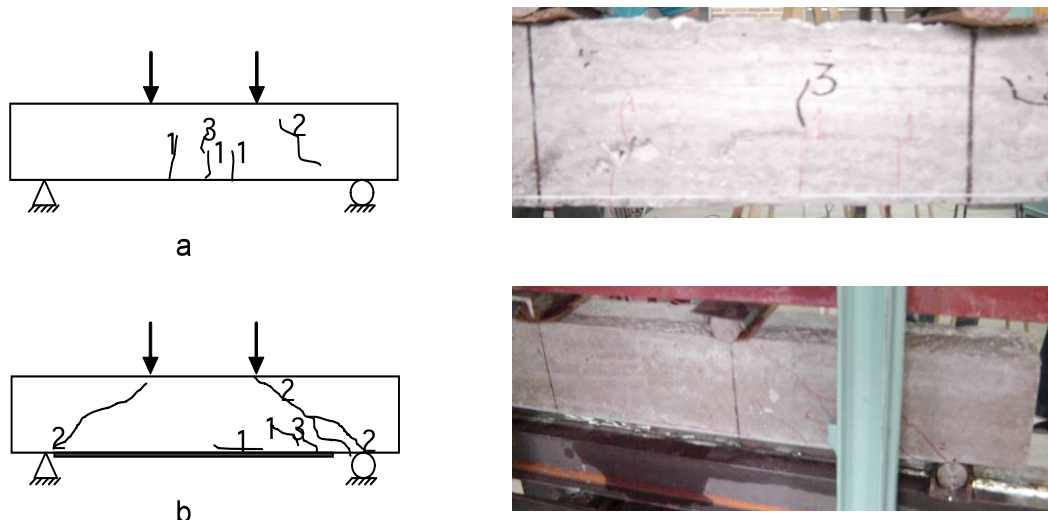


Figura 11: Esquema de fisuración: a) Viga de referencia; b) Viga reforzada

### Refuerzo a Corte

El refuerzo y reparación a corte de las vigas del grupo G2 se hizo con el mismo material que el refuerzo a flexión, planchuelas de PRFC de 1.2 mm de espesor y 50 mm de ancho. Consistió en la aplicación de bandas verticales de 50 mm de ancho y 150 mm de alto en las dos caras laterales de las probetas. Se adoptó una separación de 200 mm entre ejes de bandas de acuerdo al cálculo realizado según la norma ACI 440 2R-02. Además se colocaron dos láminas de PRFC de 50 mm de ancho y 1.2 mm de espesor en la cara traccionada y de modo de cubrir todo el ancho de los especímenes. La viga reparada, identificada en la Tabla 1 como V1c-reparada, se preparó a partir de la viga de referencia V1c-referencia la cual se llevó hasta rotura y luego se reparó siguiendo el mismo esquema de refuerzo, Fig. 12, y sin que se rellenaran las fisuras existentes.

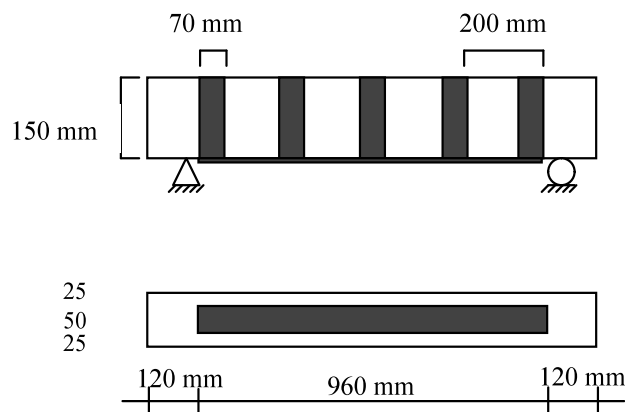


Figura 12: Esquema de refuerzo a corte



### Resultados

En la Fig. 13 se pueden ver las curvas carga-desplazamiento de las vigas V1c- referencia y de la misma viga llevada a rotura y reparada con PRFC (V1c- reparada). En la Tabla 5 se presenta los valores de carga y desplazamiento máximo y desplazamiento correspondiente al máximo valor de carga de cada uno de los especímenes ensayados

El punto I en la viga V1c-referencia indica la aparición de las primeras fisuras y el punto II el inicio del período plástico y la formación de nuevas fisuras que comienzan a crecer a partir del punto III y hasta producirse la rotura. Se puede observar que para cargas pequeñas existe una distorsión del período elástico debida al acomodamiento de la viga a la celda de carga y a los apoyos. En la Fig. 14 a se muestra el patrón de fisuras registrado

La viga V2c- reforzada no se consideró para el análisis, pues problemas en el sistema de medición de los desplazamientos impidieron tomar registros de los mismos.

La curva de la viga V1c-reparada muestra una rigidez mayor que la viga V1c-referencia y alcanza un valor de carga última 27% superior. Sin embargo presenta un tipo de rotura frágil y un desplazamiento máximo 43 % inferior al obtenido en la viga V1c-referencia, ver Tabla 5. En el punto IV de la gráfica, que corresponde a una carga de 3.52 kN, comienzan a profundizarse las fisuras existentes (ensayo de V1c referencia) y a aparecer nuevas, hasta llegar a la rotura. En la Fig. 14 b se presenta el patrón de fisuración. Se observan fisuras muy marcadas de corte entre los refuerzos verticales. La falla, frágil y repentina, se produjo por despegue del refuerzo a flexión, inducido por las fisuras de corte

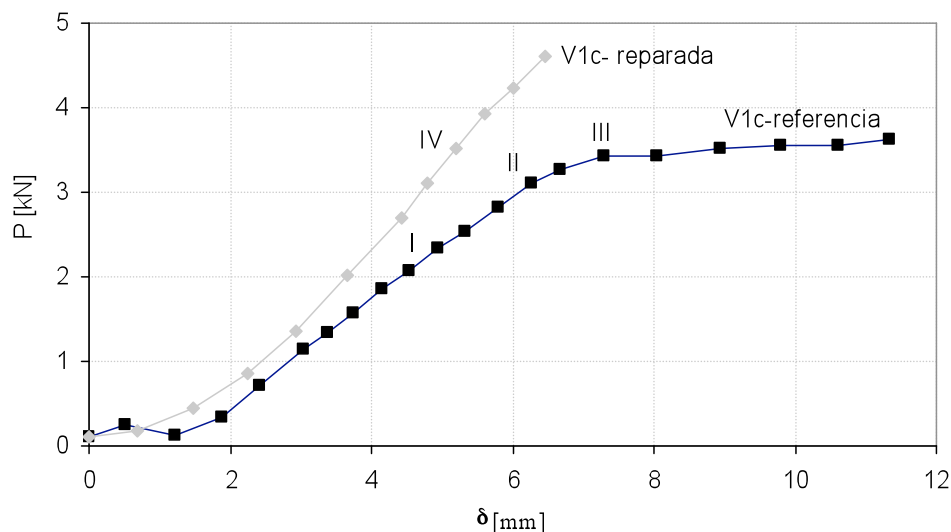


Figura 13: Curva carga-desplazamiento de viga de hormigón armado dañada y luego reparada con PRFC

Tabla 5: Resultados experimentales

Espécimen	P <sub>máx.</sub> (kN)	δ [P <sub>máx.</sub> ] (mm)	δ <sub>máx.</sub> (mm)
V1c-referencia	3.62	11.34	11.34
V1c-reparada	4.60	6.46	6.46

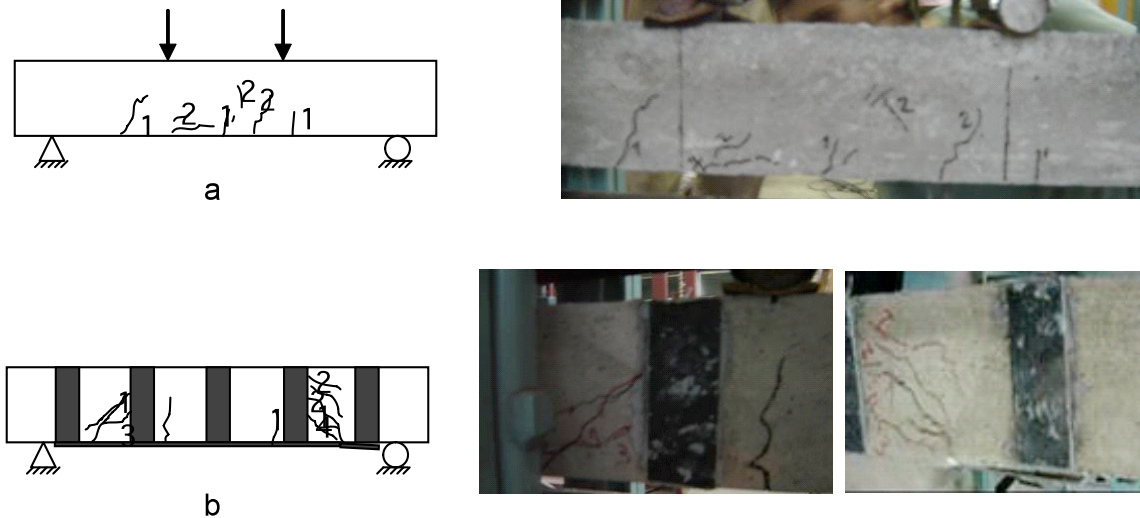


Figura 14: Esquema de fisuración: a) Viga de referencia; b) Viga reparada

### Consideraciones finales

Se han presentado resultados de ensayos de flexión sobre vigas de hormigón armado reforzadas a flexión y a corte con PRFC, llevadas a rotura y reparadas también a flexión y a corte con el mismo material. Si bien el número de ensayos realizados es modesto, del análisis y la comparación de dichos resultados se puede decir lo siguiente:

El refuerzo a flexión con PRFC aumentó la rigidez y la resistencia última de la viga. Se observó sin embargo, un tipo de falla frágil, por corte. En tal caso, la capacidad de corte de la viga no reforzada determinó su resistencia al corte, mientras que el refuerzo a flexión con PRF proporcionó una pequeña contribución a dicha resistencia.

La reparación con PRFC permitió no sólo recuperar sino también aumentar la resistencia inicial, tanto a flexión como a corte. Y si bien es necesaria la realización de un mayor número de ensayos, se podría pensar en recuperar la operatividad de distintas estructuras que puedan caer en desuso e inclusive transformarse en futuras demoliciones.

La técnica de refuerzo y/o reparación con PRF resultó rápida y sencilla de ejecutar. Sin embargo se debe destacar, que en el caso del refuerzo a corte, dicha técnica se encuentra todavía en etapa de desarrollo y por ello deben realizarse un mayor número de investigaciones.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta, a Sika Argentina y a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay.



## Referencias

- [1] A. Li, Ch. Diagana and Y. Delmas: Engineering Structure Vol. 23 (2001), p. 1212-1220.
- [2] J. Teng, J. Chen, S. Smith and L. Lam: *FRP strengthened RC structures*, (2002).
- [3] M. Garcez, L. Meneghetti, L. Pinto da Silva Filho y U. Meier: *Aplicação de laminados de fibra de carbono protendidos no reforço de estruturas de concreto*, 20º Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, Bs.As., Argentina, 2008.
- [4] ACI 440.2R-02: *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP System for Strengthening Concrete Structures*, (2002).
- [5] E. Sayed-Ahmed, R. Bakay and N. Shrive: Electronic Journal of Structural Engineering Vol 9 (2009), p.45-61
- [6] O. Benjeddou, M. Ouezdou and A. Bedday: Construction and Building Materials Vol. 21 (2007), p. 1301-1310.
- [7] Guías de diseño e instalación Tejidos Sikawrap, Bogotá, Colombia, 2000.
- [8] M. Sundarraja and S. Rajamohan: Construction and Building Materials Vol 23 (2009), p. 856-864.
- [9] M. Mohamed Ali, D. Oehlers and R. Seracino: Engineering Structures Vol 28 (2006), p. 381–389.
- [10] IRAM 1534, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales: *Hormigón de cemento Portland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorio*, (1985).