

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO.

Dañadas por corrosión y reparadas con polímeros reforzados con fibras

María Inés Schierloh*
schierlm@frcu.utn.edu.ar

Viviana Rougier‡
rougierv@frcu.utn.edu.ar

Mario Larroza†
gire@frcu.utn.edu.ar

Yari Frías§
gire@frcu.utn.edu.ar

Resumen

Las vigas de hormigón armado, elementos de fundamental importancia para la seguridad de una estructura, son a menudo susceptibles a la corrosión de sus armaduras de acero. En numerosos casos los métodos de rehabilitación demostraron ser ineficientes para evitar que el proceso de corrosión continúe. Esto ha dejado expuesta la necesidad de mejorar la comprensión de la influencia del daño debido a la corrosión sobre el comportamiento estructural, así como también la necesidad de diseñar un sistema de reparación y/o refuerzo eficiente que reduzca o retarde el proceso de corrosión del acero, aumentando la resistencia y ductilidad del elemento estructural y reduciendo la permeabilidad. Diversos trabajos de investigación demostraron que el uso de polímeros reforzados con fibras (PRF) representa una solución efectiva en la reparación de estructuras dañadas por corrosión.

En este trabajo se estudia el comportamiento a flexión de vigas de hormigón armado con sus armaduras afectadas por procesos corrosivos y reparadas con PRF. Para estudiar el funcionamiento de las reparaciones planteadas, en el trabajo se analizan y comparan entre sí los resultados experimentales.

Palabras-clave: Corrosión, Reparación, Polímeros reforzados con fibra.

* Prof. Mg. en Ingeniería, Grupo de Investigación en Rehabilitación de Estructuras (G.I.R.E.), Departamento de Ingeniería Civil, Fac. Reg. C. el Uruguay. UTN.

† Prof. Dr. en Ingeniería, Grupo de Investigación en Rehabilitación de Estructuras (G.I.R.E.) Departamento de Ingeniería Civil, Fac. Reg. C. el Uruguay. UTN.

‡ Becario Alumno, Grupo de Investigación en Rehabilitación de Estructuras (G.I.R.E.).

§ Becario Alumno, Grupo de Investigación en Rehabilitación de Estructuras (G.I.R.E.).

1 Introducción

La corrosión de las armaduras de aceros representa un problema de gran importancia para las estructuras de hormigón armado por dos razones: primero la corrosión del acero va asociada con una pérdida considerable de su sección transversal; segundo los residuos de la corrosión ocupan un volumen mayor que el acero original, y ello genera tensiones de tracción en el hormigón que pueden provocar su fisuración o desprendimiento y en consecuencia pérdida de la unión estructural entre el refuerzo y el hormigón [1].

Para determinar el sistema de reparación y/o refuerzo más adecuado es necesario estimar la vida de servicio remanente de las estructuras de hormigón armado, cuando el deterioro ha progresado más allá del período inicial y la corrosión se ha propagado.

Los polímeros reforzados con fibras (PRF) se han convertido en los últimos años en una solución efectiva en la rehabilitación de estructuras dañadas por corrosión. Este concepto de reparación fue motivado por la observación de que los PRFs son químicamente inertes a los agentes que usualmente inducen la corrosión, además de otras ventajas, como su alta relación resistencia peso y su fácil montaje a elementos de hormigón [1].

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio experimental llevado a cabo sobre vigas sometidas a un proceso acelerado de corrosión, reparadas con polímeros reforzados con fibras de carbono (PRFC) y luego ensayadas a flexión hasta rotura a los efectos de evaluar el comportamiento post-reparación.

2 Programa experimental

El programa experimental que se está desarrollando incluye en su totalidad 24 vigas de hormigón armado de pequeña escala (80x160x1100mm) dañadas mediante un proceso de corrosión acelerada y reparadas con PRFC. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos hasta el momento sobre 6 vigas. En la Figura 1 se muestran los detalles de armadura y sección de las vigas.

Con el fin de acelerar el proceso de corrosión se aplicó una corriente externa constante a través de las armaduras, para hacerlas actuar como ánodo, mediante un galvanostato (Figura 1).

Se empleó una densidad de corriente $i_{corr} = 140 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, cabe señalar que Andrade et al. [2], informó que en ambientes muy agresivos, se han medido densidades de corriente de corrosión de aproximadamente 100-200 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Por lo tanto, la densidad de corriente elegida es similar a las medidas en el campo. En el caso de las vigas aquí analizadas se aplicó una intensidad de corriente de 38,2 mA. Este valor se aplicó con el objeto de obtener, en un período de tiempo

prudencial, 90 días aproximadamente, un radio de penetración teórica de la corrosión de al menos unos 0,40 mm.

La actividad de corrosión dentro de las probetas, se monitoreó durante el proceso corrosivo, con técnicas no destructivas y destructivas. Dentro de las no destructivas se incluyeron mediciones de potenciales electroquímicos con hemicelda de Cu-Sulfo de Cu (norma ASTM C 876-91 [3]). Y las destructivas, comprendieron la gravimetría de las barras corroídas, con lo cual se obtuvieron las pérdidas reales del material.

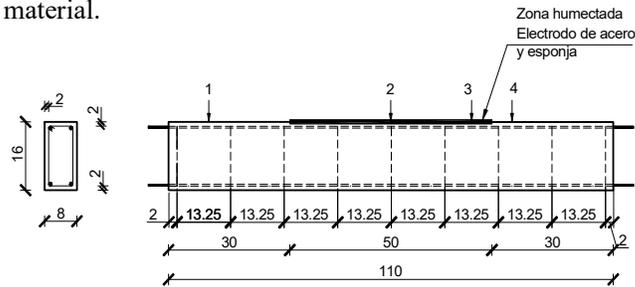


Figura 1: Dimensiones de las vigas y armaduras de acero. Zona corroída y puntos de medición de potenciales electroquímicos de corrosión.

2.1 Propiedades de los materiales

Las principales características mecánicas del hormigón se determinaron a través de ensayos de compresión uniaxial sobre probetas cilíndricas de 150 x 300 mm, según normativa vigente en el país [4], [5] y sus resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades mecánicas del hormigón, acero y PRFC.

Propiedades	Hormigón	Acero	PRFC
Resistencia característica compresión, σ_c (MPa)	30	-	-
Resistencia última a tracción, σ_{ut} (MPa)	-	5000	960
Tensión de Fluencia, σ_f (MPa)	-	4200	-
Módulo de Elasticidad E (MPa)	28000	210000	72500
Coefficiente de Poisson, ν	0.20	0.30	0.2
Espesor (mm)	-	-	1

Los valores de resistencia característica corresponden a los resultados obtenidos de 12 especímenes. La dosificación del hormigón se hizo según el método ICPA [6] y su elaboración se llevó a cabo en planta hormigonera, única automatizada en la zona, lo que permitió obtener hormigones con muy baja dispersión. .

2.2 Esquema de reparación

El esquema de reparación adoptado consistió en tejido unidireccional de fibras de carbono y resina epoxi, según el proceso denominado húmedo y con las fibras orientadas en la dirección longitudinal del elemento a reparar, Figura 2.

Se repararon cuatro vigas, dos a los 70 y dos a los 90 días de iniciado el proceso de corrosión acelerado. Los especímenes reparados a los 70 días continuaron con el proceso de corrosión hasta llegar 90 días, luego de lo cual las 4 vigas fueron ensayadas a flexión en cuatro puntos hasta rotura. Se midieron cargas y desplazamientos del punto medio de cada viga. También se ensayaron dos probetas sin reparar. Una de ellas fue ensayada al comienzo del programa experimental, sin ningún ataque de corrosión de sus armaduras, denominada V1R (viga 1 de referencia), y la otra a los 90 días sometida al proceso de corrosión acelerado y sin reparación, denominada V1RD90 (viga 1 de referencia dañada no reparada a 90 días).

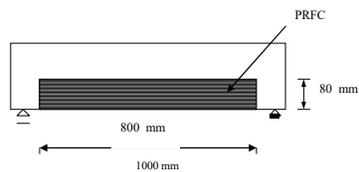


Figura 2: Esquema de la reparación y vista del ensayo e instrumentación.

3 Resultados

Se observó que los valores de potenciales electroquímicos de corrosión disminuyeron en las vigas reparadas en el avance del proceso, respecto a la probeta sin reparar. En cuanto a la pérdida de masa en las vigas reparadas se redujo alrededor del 5% después de 90 días de exposición a la corrosión. Dicha reducción, puede atribuirse a la menor difusión de humedad y oxígeno que genera el envoltorio con FPRC. Conjuntamente la disminución en los valores de los potenciales electroquímicos de corrosión observadas en las probetas reparadas respecto de las sin reparar, estaría indicando una disminución en la actividad corrosiva, tendencia similar a la observada por otros autores [1].

La viga de referencia, V1R, no dañada por corrosión y sin reparar, tuvo un tipo de falla frágil y repentina, por corte. Las vigas dañadas y luego reparadas con PRFC, registraron el mismo tipo de rotura, pero a un valor de carga mayor y manteniéndose la integridad de los especímenes, luego de la falla. La viga sometida al proceso de corrosión acelerada durante 90 días y no reparada, V1RD, mostró un tipo de falla más dúctil, falla por flexión, razón por la cual alcanzó un valor de carga prácticamente igual al de las vigas reparadas. En la Tabla 3 se muestran los valores de carga máxima alcanzados por todas las vi-

gas y en la Figura 3 se puede ver el tipo de falla de una viga dañada y reparada y de la viga de referencia, V1R.

Tabla 3: Resultados experimentales.

Espécimen	P_{rot} (kN)
V1R	29.00
V1RD90	39.10
V1DR70	37.80
V2DR70	39.42
V1DR90	40.90
V2DR90	39.70



Figura 3: Tipo de falla de vigas no reparadas y vigas dañadas y reparadas con PRFC.

En la Figura 4 se presentan las curvas carga-desplazamiento ($P-\delta$) correspondientes a las vigas reparadas y ensayadas a los 90 días, denominadas V1DR70 y V2DR90 (vigas dañadas y reparadas a los 70 y 90 días) y la comparación con las vigas no reparadas, V1R y V2RD. Cabe destacar que sólo se representan gráficamente los resultados correspondientes a una viga reparada a los 70 días y una a los 90, pues problemas en el sistema de medición de desplazamientos no permiten contar con los registros correspondientes a los otros dos especímenes. Se debe mencionar además que el instrumental de medición fue retirado por precaución en todos los casos, antes de alcanzarse la carga de rotura, razón por la cual no coinciden los valores mostrados en Tabla 3 con los gráficos de la Figura 4.

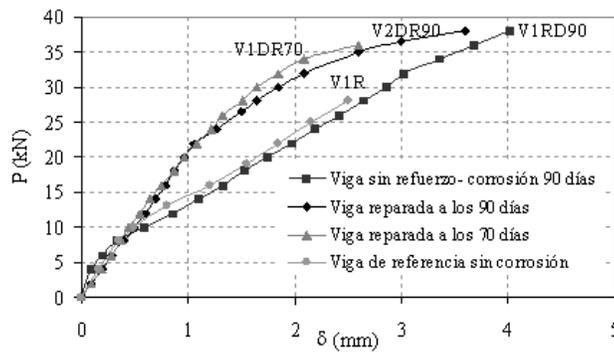


Figura 4: Curvas $P-\delta$ de vigas dañadas y reparadas. Comparación con vigas no reparadas.

4 Conclusiones

Este estudio revela en primer lugar, que los PRFs permiten mantener la integridad estructural de vigas de hormigón armado dañadas por corrosión. Si bien el tipo de falla, no se modifica, con respecto a una viga no dañada ni reparada, la reparación con PRFC permite aumentar la resistencia última a flexión. De todos modos es necesario realizar un mayor número de ensayos y prever además del refuerzo a flexión con PRFC, un refuerzo a corte mínimo, a los efectos de evitar la falla por corte, que se produjo en los especímenes reparados.

5 Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional C. del Uruguay, por el apoyo económico brindado para la realización del trabajo, al Ing. Héctor Retamal y a los Ings. Jorge Rendón y Paulino Maldonado, de Sika Colombia y Sika Argentina, respectivamente, por la donación del material de refuerzo necesario para la realización de los ensayos.

6 Bibliografía

- [1] Masoud, S. y Soudky K., *Evaluation of corrosion activity in FRP repaired RC beams*, Cement & Concrete Composites, 28, 2006, pp.969-977.
- [2] Andrade C, Alonso C, Feliú S, González JA., *Progress on design and residual life calculation with regard to rebar corrosion in reinforced concrete. Techniques to assess the corrosion activity of steel reinforced concrete structures*, ASTM STP 1276, Philadelphia, PA, USA, 1996.
- [3] American National Standard, ASTM C 876, *Standard Test Method for Half Cell Potential of Reinforcing Steel in Concrete*, 1991.
- [4] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM 1534, *Hormigón de cemento pórtland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorio*, 1985.
- [5] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM 1546, *Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de compresión*, 1992.
- [6] Instituto del Cemento Portland Argentino, *Diseño Racional de Mezclas de Hormigón- Método ICPA*, 2000.