

COMPORTAMIENTO DE LA REPARACION LOCALIZADA DE VIGUETAS ARMADAS AFECTADAS POR CORROSION.

Río, O.; Alonso, C.; Andrade, C.; Vega, L
IETcc, Madrid, España.

1. INTRODUCCION

La corrosión de las armaduras es una de las causas principales de deterioro del hormigón estructural. Cuando se desarrolla la corrosión, los óxidos generados se acumulan sobre la superficie de la armadura produciendo tensiones en el hormigón colindante hasta que se produce una fisura que iniciándose en la superficie de la armadura se propaga hacia la superficie del hormigón.

La fisuración en el hormigón se debe a que los productos de corrosión (óxidos) tienen un volumen mayor que el propio acero [1]. Estas fisuras longitudinales pueden afectar a la capacidad portante del elemento estructural y como consecuencia puede acortarse la vida en servicio del mismo [1-4].

La pérdida de sección de la armadura debido a la corrosión, y la formación de fisuras del recubrimiento, afectan al Estado Limite Ultimo -ELU- [5], debido a la posible falta de adherencia entre el hormigón y la armadura [2, 6-8] o a la pérdida de capacidad portante. También el Estado Limite de Servicio -ELS- se ve afectado por la fisuración en si misma y por el posible incremento de las deformaciones. En el caso de viguetas con secciones muy ajustadas y recubrimientos estrictos, el efecto de corrosión de las armaduras puede ser importante.

Una de las prácticas habitualmente usadas en la reparación de estructuras afectadas por corrosión es la eliminación del hormigón dañado, limpieza del óxido que recubre la armadura y posterior restitución de la geometría del elemento con otro material diferente o con uno de similares características -reparación por parcheo- [9-12]. Sin embargo, no existe demasiada documentación que incluya trabajos experimentales, acerca del comportamiento estructural del elemento reparado [11-14] en especial para el caso de viguetas.

Algunas veces, dadas las pérdidas de sección de acero se requiere la colocación de armaduras suplementarias o un reemplazo de las existentes con el fin de mantener la capacidad portante del elemento estructural [12].

En este trabajo se presentan parte de los resultados obtenidos a partir de un estudio experimental en el que se ha analizado el comportamiento mecánico de elementos reparados y sin reparar sometidos a flexión (viguetas y vigas de hormigón armado) a las que previamente se sometió a un proceso de corrosión acelerada mediante penetración de cloruros en una zona localizada de los mismos.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se emplearon en el estudio viguetas de hormigón armado de 4,20 m de longitud cuya sección, armado y datos característicos se especifican en la fig. 1.

Las viguetas se contaminaron con cloruros en su zona central en una longitud aproximada de 40 cm, bien en la zona de compresión (Viguetas denominadas tipo 1 y 2) o en la zona de tracción (Viguetas denominadas tipo 3 y 4). Tras iniciarse la corrosión la propagación se hizo de forma acelerada mediante la aplicación de una corriente exterior. El procedimiento de corrosión acelerada fue similar al

descrito en [3,4], con la variante en este caso de que la corrosión se extendió únicamente a la zona contaminada de la vigueta (ver fig. 2). Como cátodo se empleó una malla de titanio de iguales dimensiones que la zona contaminada con cloruros. El proceso de corrosión acelerada se hizo imponiendo una corriente de $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Este valor se empleó teniendo en cuenta los valores máximos de velocidad de corrosión en condiciones naturales medidos en el laboratorio.

Durante el proceso de corrosión se siguió la iniciación y propagación de la fisura. El ensayo de corrosión tuvo una duración aproximada de siete meses, hasta que la fisura llegó a 1 mm (fotografía 1) para el caso de la zona de compresión o que la armadura hubiera sufrido pérdidas de sección del 20% en la zona de tracción, calculado teóricamente durante el ensayo de corrosión a partir de la ley de Faraday.

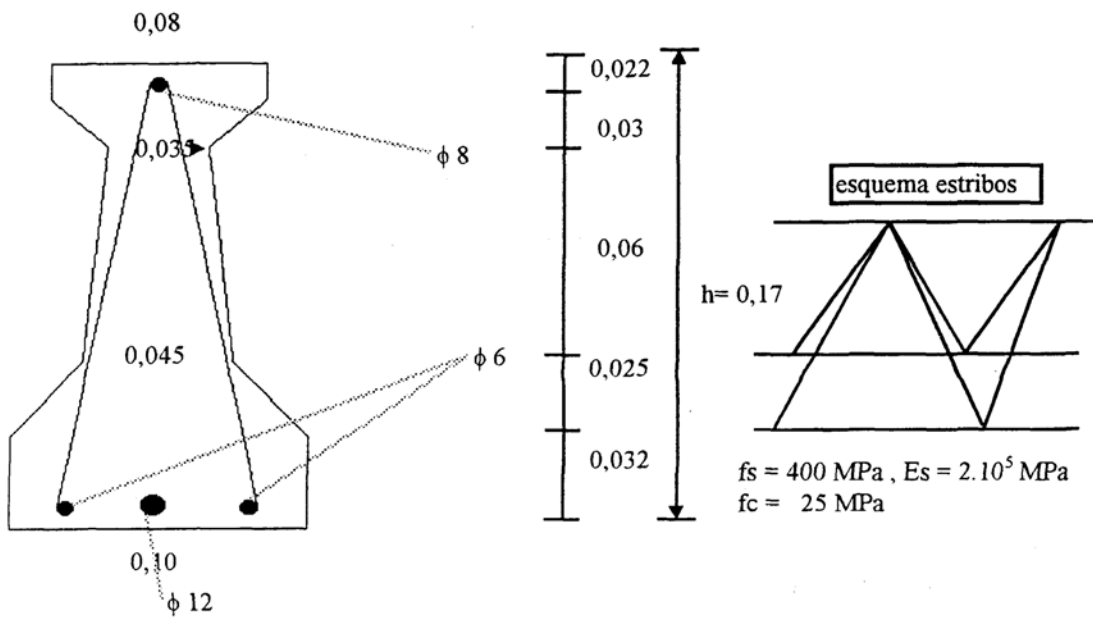


Fig. 1

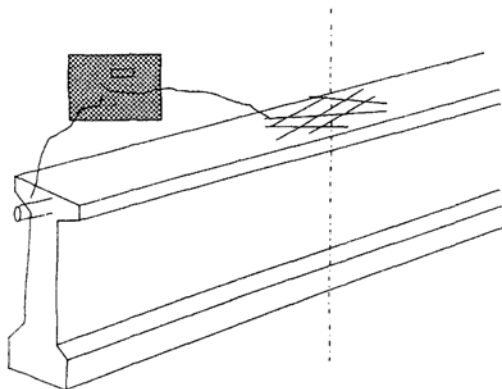
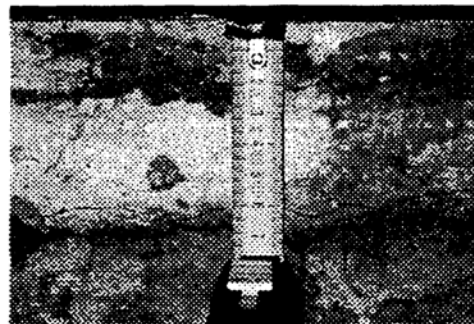


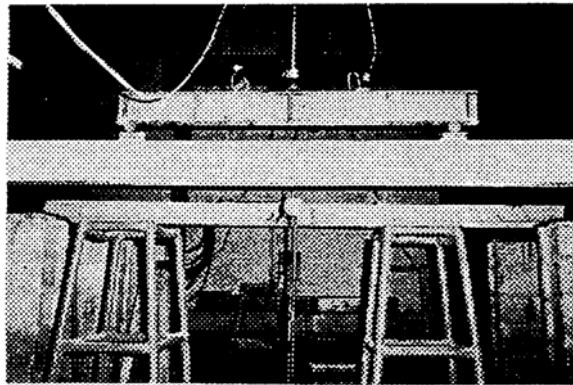
Fig. 2



Fotografía 1

Terminado el proceso de corrosión se procedió a eliminar el hormigón dañado y a limpiar la armadura de restos de óxido y a medir el diámetro de la armadura y penetración máxima -picadura- con el fin de confirmar los valores de pérdida de sección calculados previamente. Posteriormente se restituyó el área de hormigón de la vigueta empleando para ello un mortero tixotrópico en base cemento (fc.: 75 MPa. a 28 días, adherencia al hormigón: 4 MPa. a 28 días, adherencia a las armaduras 30 MPa. a 28 días) siguiendo las características de curado especificadas para este material.

Finalmente se procedió al ensayo de flexión (ver fotografía 2) de las viguetas corroídas sin reparar (tipos 1 -zona de compresión- y 3 -zona de tracción-) y reparadas (tipos 3 -zona de compresión- y 4 -zona de tracción-). La vigueta se apoyó a h/2 del extremo y se introdujeron dos cargas puntuales simétricamente dispuestas en los tercios de la luz. Se aplicaron escalones de carga de aproximadamente 1 kN. midiéndose las flechas, debidas a cargas instantáneas, en el centro de la viga para cada escalón hasta alcanzar el momento de servicio, estimado a partir del momento último garantizado por el fabricante. A partir de este momento se quitaron los flexímetros y se continuó cargando la vigueta hasta llegar a rotura.



Fotografía 2

3. RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se resumen los valores de fisura máxima medidos en las viguetas 2 y 4 (posteriormente reparadas) al final del proceso de corrosión así como, las penetraciones medias y máximas tomadas en dichas viguetas.

Tabla 1

	Tamaño máx. fisura (mm)	Penetración		Pérdidas de sección	
		Media (μm)	Máx. (μm)	Media (%)	Máx. (%)
Tipo 2 ϕ_i : 8 mm	1	567	1050	26,4	45
Tipo 4 ϕ_i : 6 mm	1,4	415	790	25,7	46
Tipo 4 ϕ_i : 6 mm	1,4	355	760	22	44
Tipo 4 ϕ_i : 12 mm	1,4	250	285	8	9,2

El comportamiento de las viguetas tipo 1 y 2 (denominadas Serie 1 y Serie 2 en la fig. 3) en cuanto a deformaciones, fue similar en los estadios de carga iniciales (<3 kN). En lo referente a fisuración, si bien la de tipo 2 presentó una fisuración generalizada en su tercio medio en la de tipo 1 apareció una fisura principal en la zona central a partir de los 4 kN. La rotura (M_{uv}) se alcanzó en ambos tipos para un nivel de carga similar al de la patrón (M_o) si bien con un valor ligeramente superior en la reparada (ver fig. 4), que se atribuye a que se ha utilizado un mortero de reparación con una resistencia mayor que la del propio hormigón de la vigueta. En ambos casos la rotura se produjo por aplastamiento del hormigón en la cabeza de compresión (ver fotografías 3 y 4).

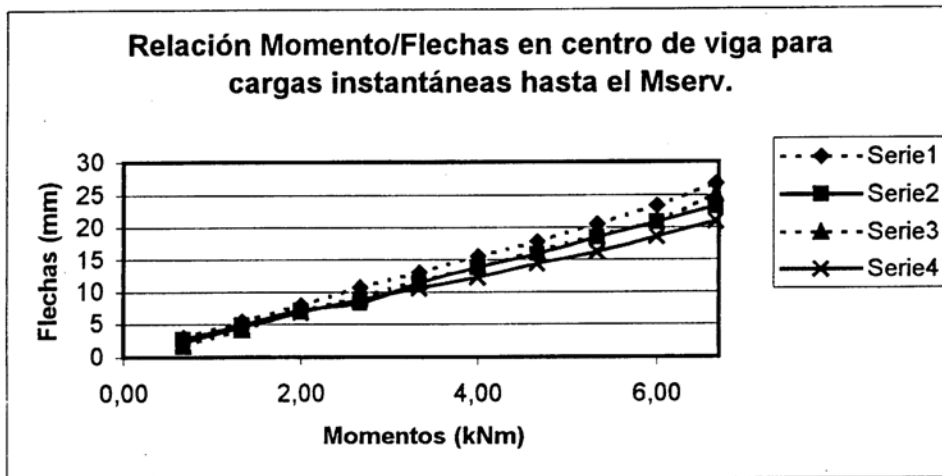


Fig. 3

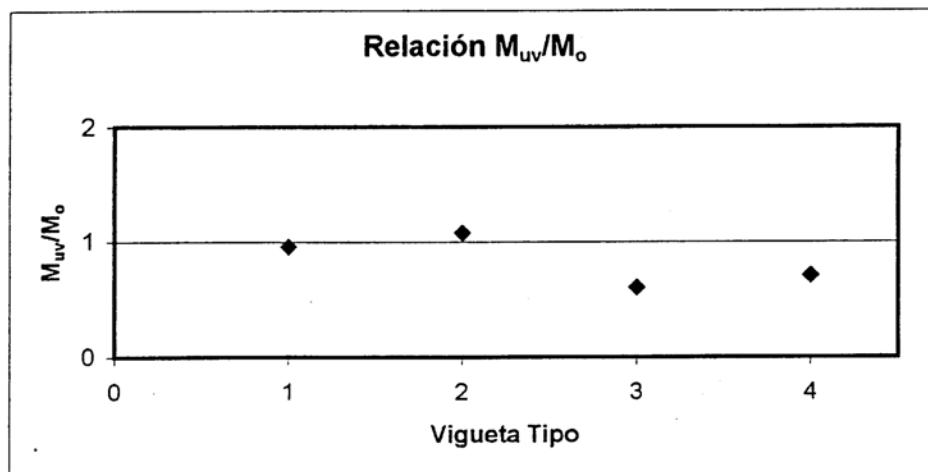
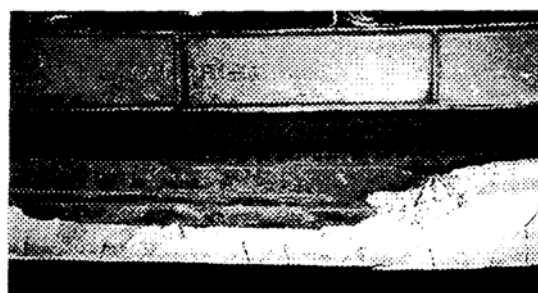


Fig. 4

Las viguetas tipo 3 y 4, al terminar el ensayo de corrosión acelerada presentaban una pérdida de sección y unos tamaños máximos de fisura como los que se indican en la tabla 1. En el ensayo a flexión (cuyos resultados pueden observarse en las figuras 3 y 4) las primeras fisuras visibles se detectaron para los 1,5 kN. La rotura se produjo en ambos casos por flexotracción. En la fotografía 5 se muestra la rotura correspondiente a la vigueta del tipo 4. La reducción del momento último como era de esperar dadas las pérdidas de sección de armadura, fue importante, de aproximadamente un 39% en la vigueta tipo 3 -sin reparar- y de un 29% en la del tipo 4 -reparada-.



Fotografía 3



Fotografía 4



Fotografía 5

4. COMENTARIOS FINALES

En primer lugar cabe señalar que el sistema de reparación empleado se comportó según era deseable hasta la carga de rotura del elemento ya que las zonas reparadas trabajaron solidariamente con el hormigón antiguo. No obstante, y debido posiblemente a la utilización de un material de reparación de características más resistentes y de rigidez superior a las del propio hormigón inicial, no se observó fisuración uniformemente distribuida en el tercio central de la zona traccionada (ensayo de vigueta tipo 4), como sería el caso de una vigueta sin daños aparentes, sino que aparece una fisura principal como la que se observa en la fotografía 4, hasta llegar a la rotura.

El momento último obtenido mediante el ensayo, es similar al estimado teóricamente, considerando una sección nominal equivalente a la obtenida a partir del diámetro medio de la armadura corroída. Se han tornado en consideración para el cálculo las desviaciones habituales derivadas de considerar el límite elástico real frente al característico.

En lo referente a deformaciones el comportamiento durante el ensayo de las viguetas corroídas (reparadas y no reparadas) y la vigueta patrón es similar hasta llegar a la carga de servicio, con flechas ligeramente superiores a las de este último, en el caso de las viguetas sin reparar, y ligeramente inferiores en las reparadas.

Las vigas con armaduras corroídas en zona de compresión (Tipo 1 y 2) presentan un comportamiento hasta rotura análogo al comportamiento de la vigueta patrón. Mientras que en las viguetas con armaduras corroídas en zona de tracción (Tipo 3 y 4), tanto la reparada como la no reparada, se observó una pérdida de ductilidad.

Es importante resaltar que una reparación como la aquí realizada, no implica un refuerzo estructural y por tanto no implica una recuperación de capacidad de carga última a los estadios iniciales. No obstante, si el elemento resistente ha sido dimensionado teniendo en cuenta criterios de deformación o fisuración -ELS-, lo que suele ser habitual en forjados de edificación, este tipo de reparación cosmética, se podría adoptar siempre que, lógicamente, la pérdida de capacidad portante no superara el margen derivado del exceso de armado ante el ELU de resistencia correspondiente.

5. AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a la CICYT por la financiación dada para la realización del proyecto dentro del cual se encuadran estos trabajos. A Jesús Rodríguez Santiago y Angel Arteaga por su asesoramiento técnico en la preparación del plan de trabajo y al personal becario y de la nave de ensayos mecánicos del IETcc por su inestimable colaboración.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Braun K, "Prediction and evaluation of durability of reinforced concrete elements and structures", 4th Conf. on Durability of Building Mat. & Components, Singapore, 1997.
- [2] Crimes WD, Hartt WH and Turner DH, "Cracking of concrete in sea water due to embedded metal corrosion", NACE-Corrosion 35 (7) (1979), 309.
- [3] Andrade C, Alonso C and Molina FJ, "Cover cracking as a function of bar corrosion. Part I. Experimental test", Mater. Struct. 26 (1993) 453-464. Research Institute, 1992.
- [4] Alonso C, Andrade C, Rodriguez J and Diez JM. "Factors controlling cracking of concrete affected by reinforced corrosion". Mat. & Struct. Vol 31, 1998.
- [5] Rodriguez J and Andrade C, "Load bearing capacity loss in corroding structures", ACI Convention, Toronto, 1990.
- [6] Maslehuddin M, Allam IM, Al-Sulaimi GJ, Al-Mana Al and Abduljauwad SN. "Effect of rusting of reinforcing steel on its mechanical properties and bond with concrete, ACI Materials Journal (1990) 496-502.
- [7] Rodriguez J; Ortega L, Casal J y Diez JM. "La corrosión de las armaduras y la vida residual de las estructuras de hormigón" Hormigón y Acero 208. 1998.

- [8] Mangat PS, Elgarf MS "Bond characteristics of corroding, reinforcement in concrete beams". *Materials and Structures*, Vol. 32' March 1999.
- [9] Fernández J, López P, Delibes A. "Una investigación sobre la eficacia de los distintos sistemas de reparación de estructuras dañadas por corrosión". *Cuadernos INTEMAC*, N° 30, 1998.
- [10] Kudlapur S, Hanaor A, Balaguru PN and Nawy G. "Evaluation of cold-weather concrete patching materials". *ACI Mater. J.* Agosto 1989.
- [11] Emberson NK and Mays GC. "Significance of property mismatch in the patch repair of structural concrete. Part 3' Reinforced concrete members un flexure. *Magazine of Concrete Research*, n° 174, 1996.
- [12] Cairns J. "Load relief during structural repairs to reinforced concrete beams". *Proc. Instn. Civ. Engrs. Structs & Blgs*, 99. 1993.
- [13] Delibes A, Fernández J. "Investigación sobre reparación de estructuras de hormigón armado dañadas por corrosión de armadura". *H. Y A.*, 172, 1993.
- [14] Ramírez JL, Bárcena JM, Urreta JI y Sánchez JA. "Métodos de reparación localizada de pilares de hormigón para carga total basados en encamisados metálicos". *H y A.*, 197. 1995