

CODE 3.6.46**REPARACIÓN DE PILARES DE HORMIGÓN ARMADO:
PROYECTO Y EJECUCIÓN****Pellicer, Teresa M.¹; Calderón, Pedro A.²; Ortega, A. Irene³**

1: ICITECH Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón
Universitat Politècnica de València
e-mail: tpa@cst.upv.es, web: <http://www.upv.es>

2: ICITECH Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón
Universitat Politècnica de València
e-mail: pcaldero@upv.es, web: <http://www.upv.es>

3: ICITECH Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón
Universitat Politècnica de València
e-mail: anorpa@etsii.upv.es, web: <http://www.upv.es>

PALABRAS CLAVE: Estructuras de hormigón armado, mantenimiento de estructuras, reparación de estructuras, reparación de pilares de hormigón armado

RESUMEN

En estos momentos existe en España un número significativo de edificios con problemas estructurales importantes. Entre las patologías más frecuentes que presentan los edificios destaca por su número e importancia, las de los pilares de hormigón armado en edificios de más de 30 años. Aunque existe una normativa europea de obligado cumplimiento, en muchos casos, sobre todo en obras pequeñas, estos pilares se reparan aplicando productos comerciales, sin haber realizado unos estudios previos, sin analizar las causas del deterioro y sin garantías de durabilidad.

Previamente a la ejecución de los trabajos se deben realizar unos estudios previos para evaluar el estado de la estructura. A partir de los resultados de estos estudios, se analizan las causas del deterioro y se selecciona el método de reparación. En este trabajo, se presenta como caso de estudio la metodología aplicada en la reparación de los pilares de hormigón armado de la planta de sótano de un edificio.

1. INTRODUCCIÓN

En estos últimos años se está produciendo un crecimiento significativo en el número de intervenciones en las construcciones, tanto de edificación como de obra civil. Esto es debido fundamentalmente a la actual coyuntura económica, en la que la inversión en obra nueva prácticamente ha desaparecido y las políticas económicas de las administraciones están focalizadas en la rehabilitación de los edificios.

Por otra parte, según el Informe de la Confederación Española de organizaciones Empresariales (CEOE) del año 2014 [1], en el año 2011 casi el 2% de los edificios españoles se encontraban en un estado de conservación ruinoso y el 7,6% estaban en estado deficiente. Según este informe, en 963.326 edificios se deberían llevar a cabo obras de conservación del edificio.

Las patologías que pueden presentar las edificaciones pueden ser de muy diferente naturaleza. Por ejemplo, las estructuras de los edificios pueden presentar problemas mecánicos, químicos, ambientales, etc., originados por asientos del terreno, humedades, envejecimiento de los materiales, etc., y todos ellos reclaman atención.

En el conjunto de la estructura de un edificio, los pilares son elementos fundamentales, y su degradación puede llevar al colapso completo del edificio. Además, en muchos casos, están sometidos a condiciones adversas y suelen estar menos protegidos que otros elementos estructurales. Por ello, entre las reparaciones estructurales de los edificios, la de los pilares ocupa un lugar destacado.

Por este motivo, en el presente artículo se va a exponer una metodología de reparación de pilares de hormigón armado, mediante la utilización de morteros predosificados, aplicada a un caso de estudio. La reparación se realizó en 105 pilares en la planta de sótano de un edificio de viviendas construido en 1980, de 7 alturas y 3.100 m² de superficie en planta, en un municipio de la provincia de Valencia.

2. METODOLOGÍA

2.1. Estado de la cuestión

Existen abundantes estudios relacionados con la reparación o el refuerzo de este tipo de elementos estructurales. Sin embargo, estos trabajos se refieren mayoritariamente al refuerzo de los pilares mediante el confinamiento de los mismos, para incrementar su resistencia a compresión y ductilidad. Ejemplos de estas investigaciones son los trabajos de Ramírez [2], Fukuyama [3], Júlio et al. [4], Ong et al. [5], o Vандoros y Dristos [6].

Sin embargo, en muchos casos, la reparación de la estructura no necesariamente debe incluir el refuerzo de la misma. Es decir, en muchos casos se trata de restituir sus niveles de seguridad (reparación), pero sin incrementar su capacidad resistente de diseño (refuerzo), según las definiciones de reparación y refuerzo que indica el C.E.B.[7]. Por otra parte, las reparaciones a realizar en los pilares de hormigón armado se pueden clasificar en: reparación por parcheo, reparación integral a una cara y reparación integral de las cuatro caras.

Respecto a las investigaciones realizadas en el campo de la reparación de pilares de hormigón armado, se pueden destacar las realizadas por Shambira y Nouno [8], la de Sharif et al. [9] y la de Aurrekoetxea [10] referidas a las reparaciones por parcheo. En cuanto a la reparación integral a una cara, podemos citar la de Pellegrino et al. [11] y [12], que cuantifica la efectividad de la reparación en función del espesor de la misma. Y finalmente, cabe citar la de Da Porto et al. [13], relativa al restablecimiento de la capacidad de carga en los pilares reparados a 4 caras.

2.2. Normativa aplicable

En 2009 se desarrolló la normativa europea UNE-EN 1504 [14], que marca las directrices para ejecutar los trabajos de reparación de estructuras de hormigón armado. Estas directrices se pueden resumir en las siguientes fases:

1. Evaluación de la estructura.
2. Identificación de las causas del deterioro.
3. Definición de los objetivos de protección y reparación.
4. Selección del principio o principios más adecuados para la protección y la reparación.
5. Selección de los métodos.
6. Definición de las propiedades de los productos y de los sistemas.
7. Especificación de las condiciones de mantenimiento posteriores a la protección y a la reparación.

Esta normativa es de obligado cumplimiento, e indica que para realizar una correcta reparación, en primer lugar se debe evaluar la estructura e identificar las causas del deterioro. Sin embargo, muchos de los trabajos que se llevan a cabo hoy en día (fundamentalmente los realizados en obras pequeñas), el único estudio realizado es una inspección visual, necesaria pero no suficiente, para evaluar la estructura y elegir el método más adecuado de reparación o refuerzo, en su caso. En los apartados

siguientes se presenta un caso de aplicación de la metodología propuesta en la norma a la reparación de los pilares del sótano de un edificio de viviendas.

3. ESTUDIOS PREVIOS

3.1 Evaluación de la estructura

Antes de realizar cualquier proyecto de reparación o refuerzo de una estructura, deben realizarse unos estudios previos que nos permitan evaluar la estructura e identificar las causas del deterioro. En el presente caso de estudio, la metodología empleada para la realización de estos estudios previos ha sido la siguiente [15]:

1. Recopilación y estudio de la documentación existente.
2. Inspección visual completa de la estructura, realizando un inventario y levantamiento de las lesiones observadas, y una evaluación inicial de su estado.
3. Ensayos de información para determinar la geometría y estado del armado, así como la resistencia estimada del hormigón y su estado de conservación.
 - a. Ensayos no destructivos:
 - i. Determinación de la propagación de impulsos ultrasónicos (norma UNE 83-309-86) para medida indirecta de la resistencia del hormigón.
 - ii. Determinación de la posición de las armaduras mediante sonda magnética (“pachómetro”) y estimación de su diámetro.
 - iii. Realización de calas y mediante “corrosímetro” determinación del potencial y velocidad de corrosión de las armaduras; y de la resistividad del hormigón.
 - b. Ensayos de tipo destructivo, mediante la extracción de probetas testigo, previo análisis mediante sonda magnética, para su posterior tallado, refrentado y ensayo a compresión en laboratorio (UNE 83-302, 83-303, 83-304). Ensayos a realizar:
 - i. Prueba de la fenolftaleína para determinar la profundidad de carbonatación.
 - ii. Ensayo de determinación de cloruros.
 - iii. Ensayo por difracción de rayos X, para determinar la evolución del hormigón y detectar posibles procesos de degradación del mismo.
 - iv. Ensayos por termogravimetría, para verificar la existencia de la reacción expansiva árido-álcali en el hormigón.

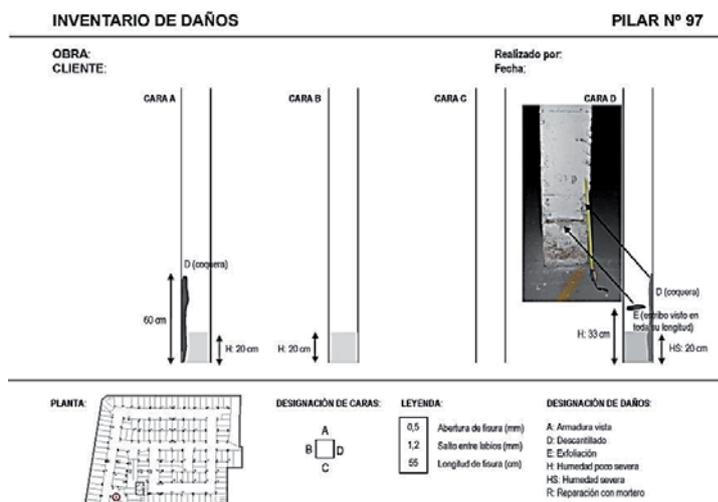


Figura 1: Fichas de inspección del estado de los pilares en la planta de sótano



Figura 2: Causas del deterioro de los pilares: entrada de agua en el sótano

3.2 Identificación de las causas del deterioro

Tan importante como la evaluación de la estructura para decidir si se debe plantear una reparación o un refuerzo de los pilares, es la identificación de las causas del deterioro de los mismos, para evitar el fallo prematuro de las reparaciones.

Según Tilly y Jacob [16], el 50% de las estructuras reparadas muestran evidencias de fallo durante los 10 primeros años posteriores a la reparación, produciéndose un 20% de los fallos durante los 5 primeros años. Según estos autores, las causas de los fallos son: un diagnóstico erróneo (16%), un diseño inapropiado (38%), la elección inapropiada de los materiales (15%), la falta de especialización de la mano de obra (19%) y otros factores (12%).

En el caso de estudio que nos ocupa, tras una rigurosa inspección visual, se ha comprobado que el principal problema de los pilares viene provocado por la entrada de agua en el sótano en temporada de lluvia. Por tanto, por una parte hay que reparar los pilares para que el deterioro no siga avanzando; y por otra parte, hay que impedir la entrada del agua al sótano, mediante el sellado de las grietas existentes en el muro de sótano y en la losa de cimentación.

4. DISEÑO DE LAS MEDIDAS DE REPARACIÓN Y PROTECCIÓN

4.1 Resultados de los estudios previos

Los estudios previos realizados han determinado que en su estado actual, la capacidad portante de los pilares no necesita ser reforzada. No obstante, la seguridad puede verse mermada si se produce otro tipo de pérdida como la reducción de la sección de acero debido a la corrosión, o la disminución de la sección de hormigón debido a la pérdida del recubrimiento. Esto puede llegar a ocurrir (aunque no de forma inminente) si avanzara el proceso de corrosión de las armaduras.

Por tanto, es necesario detener el proceso de corrosión de armaduras. Para ello, hay que proteger los pilares con un revestimiento impermeable (para impedir la entrada de agua al pilar), a la vez que transpirable (para permitir que se evapore el agua interior), según la norma UNE-EN 1504-2 [17]. En aquellos pilares en los que ha comenzado a desprenderse el recubrimiento, hay que eliminarlo, limpiar la armadura de óxido, imprimarla con una pintura protectora y reponer el recubrimiento con un mortero a base de resinas.

4.2 Reparación de pilares con hormigón en mal estado

El procedimiento aplicado en los pilares con hormigón en mal estado, es el que indica la norma UNE-EN 1504-10 [18]:

1. Saneado de las superficies.
2. Limpieza de las superficies.
3. Colocación de la capa de unión entre hormigón viejo y material de reparación.
4. Colocación del material de reparación.
5. Protección de las superficies de hormigón y material de reparación.

4.3 Reparación de pilares con armadura corroída

En aquellos pilares en los que existe armadura corroída, o bien, el hormigón de recubrimiento de las armaduras muestra manchas de óxido o se ha desprendido, se procede a la eliminación del hormigón en mal estado, limpieza y pasivación de la armadura, regeneración del hormigón y finalmente, revestimiento de protección del mismo. A continuación se describe el proceso.

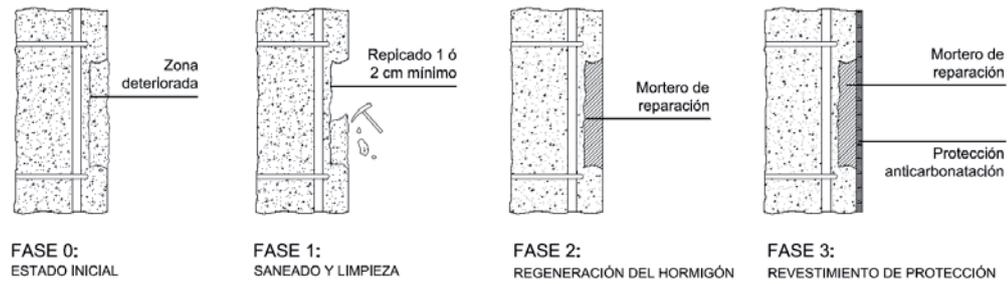


Figura 3: Fases de la reparación de pilares con hormigón en mal estado



Figura 4: Fases de la reparación de pilares con armadura corroída

1. Preparación de los soportes: saneado, limpieza y preparación de las armaduras.

En el momento de ejecutar los trabajos de reparación, las superficies a tratar deben estar en perfectas condiciones, para ello hay que eliminar las lechadas superficiales, manchas, suciedad, partes mal adheridas o carbonatadas, restos de otros oficios, etc., mediante repicado o cualquier otro procedimiento manual o mecánico, hasta conseguir un soporte que reúna las condiciones idóneas, en cuanto a cohesión y rugosidad, para garantizar la buena adherencia de los morteros de reparación. Asimismo, se debe eliminar el hormigón carbonatado alrededor de las armaduras, o con cualquier otro deterioro para su posterior saneado.

Realizadas las operaciones de saneado las armaduras se limpian con chorro de agua a presión, con el fin de obtener superficies totalmente limpias, para su tratamiento posterior. En los casos en los que exista corrosión de armaduras la zona dañada se descubre hasta llegar al hormigón sano, repicando por detrás de las armaduras hasta una profundidad mínima de 2 cm o la equivalente a un diámetro de redondo.

Se limpian las armaduras mecánicamente hasta eliminar toda la herrumbre y conseguir una superficie brillante con un grado de preparación comprendido entre Sa 1 y Sa 3 (normalmente Sa 2,5) según la Norma SIS 05 59 00 [19]. Si la limpieza se realiza manualmente el grado de limpieza estará comprendido entre St 2 y St 3 según la misma Norma. También se pueden considerar otras normas al respecto, como por ejemplo la DIN 55928-4 [20] o la ISO 8503-1 [21].

Se debe comprobar que, después del tratamiento de limpieza, la posición de las armaduras y su sección son las originales. En caso contrario hay que reponer dichas armaduras.

Efectuadas las fases de saneado y limpieza es necesario llevar a cabo ciertos controles que permitan determinar si los soportes reúnen las condiciones necesarias y suficientes para continuar las sucesivas etapas del proceso. Estos controles pueden ser:

- Pasando la mano sobre el soporte para comprobar la existencia de polvo u otras partículas sueltas.
- Golpeando la superficie del soporte con un martillo u otro objeto contundente, se puede detectar la existencia de zonas huecas o mal adheridas.
- Con un destornillador, cuchillo o cualquier objeto punzante es posible determinar la cohesión del hormigón, así como las zonas blandas o degradadas que se rayan con relativa facilidad.
- Mojando con agua el soporte se comprobará la existencia de restos de desencofrante, pinturas de silicona u otros productos que den lugar a la formación de “perlas” o gotas de agua en la superficie.

Previamente a la aplicación del mortero de reparación los soportes deberán humedecerse hasta saturación para evitar que absorban parte del líquido de amasado, pero las superficies deberán presentar un aspecto mate en el momento de la aplicación de los productos, evitando encharcamientos o la formación de una película de agua superficial que disminuirá la adherencia.



Figura 5: Picado del hormigón en mal estado



Figura 6: Descubrimiento de armadura corroída



Figura 7: Aplicación del mortero de reparación



Figura 8: Mortero de regulación

2. Pasivación de las armaduras.

Para la pasivación de las armaduras se utiliza un revestimiento anticorrosión y una capa de adherencia para las armaduras del hormigón, a base de cemento y resinas epoxi modificadas. Este revestimiento se aplica mediante brocha, rodillo o pistola, en una o dos capas de 0,5-1 mm de espesor. La segunda capa se aplica cuando la primera esté bien seca (unas 2 ó 3 horas a 20°C).

3. Regeneración del hormigón.

La regeneración se realiza mediante un mortero a base de cemento, resinas sintéticas, humo de sílice y reforzado con fibras, que se aplica con paleta, paletín o llana en espesores de capa no superiores a 2 cm, dando un acabado fratasado.

4. Revestimiento anticarbonatación.

Finalmente se aplican mediante pincel, brocha o rodillo de pelo corto o por proyección mediante equipo ‘airless’, dos capas de una pintura de protección frente a la carbonatación para hormigones y morteros, a base de resinas acrílicas en dispersión acuosa, con superficie de acabado mate. La segunda capa se aplica cuando la primera esté totalmente seca y en sentido perpendicular a la primera.

Para la aplicación del producto, el soporte debe estar sano, compacto, limpio y exento de polvo, suciedad, lechadas superficiales, partículas sueltas, restos de desencofrantes y restos de otros oficios, mediante repicado o cualquier otro tipo de procedimiento manual o preferiblemente mecánico.

5. CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Este artículo presenta el trabajo realizado en un caso de estudio de reparación de pilares de hormigón armado. Este tipo de trabajos se realiza muy habitualmente hoy en día, si bien no siempre se realiza rigurosamente y según el proceso que indica la normativa europea.

Por otra parte, existen relativamente pocos estudios realizados que comparen los métodos de reparación más empleados, así como la efectividad de la reparación. La mayor parte de la bibliografía consultada se centra en el refuerzo de los pilares por confinamiento del hormigón, y no en los sistemas en la reparación de los mismos.

Por tanto, se hace necesario un estudio que analice el comportamiento de los pilares tras la reparación, qué tipo de reparación es la más adecuada, la necesidad o no de puente de unión entre el hormigón antiguo y el mortero de reparación, qué tipo de mortero es el más efectivo, o si se debe realizar la reparación estando los pilares descargados, o no.

Finalmente, es necesario evaluar la capacidad resistente de los pilares transcurrido un tiempo desde que se realizó la reparación (5 años, 10 años) para comprobar que realmente la reparación ha sido efectiva y duradera en el tiempo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Confederación española de organizaciones empresariales, CEOE. *La rehabilitación de edificios como motor de crecimiento y empleo*. Comisión de Infraestructuras y Urbanismo, 2014. http://www.ceoe.es/resources/image/rehabilitacion_edificios_motor_crecimiento_empleo_2014.pdf (13/12/2015)
- [2] Ramírez, J.L. Ten concrete column repair methods. *Construction and Building Materials*. Vol. 10/3 (1995), pp. 195-202.
- [3] Fukuyama, K.; Higashibata, Y.; Miyauchi, Y. Studies on repair and strengthening methods of damaged reinforced concrete columns. *Cement and Concrete Composites*. Vol.22/1 (2000), pp. 81-88.
- [4] Júlio, E.N.B.S.; Branco, F.A.B.; Silva, V.D. Structural rehabilitation of columns with reinforced concrete jacketing. *Progress in Structural Engineering and Materials*. Vol.5 (2003), pp. 29-37.
- [5] Ong, K.C.G.; Kog, Y.C.; Yu, C.H.; Sreekanth, A.P.V. Jacketing of reinforced concrete columns subjected to axial load. *Magazine of Concrete Research*. Vol.56/2 (2004), pp. 89-98.
- [6] Vadoros, K.G.; Dritsos, S.E. "Concrete jacket construction detail effectiveness when strengthening RC columns. *Construction and Building Materials*. Vol.22/3 (2008), pp. 264-276.
- [7] C.E.B. Comité Euro-Internacional del Hormigón. *Assesment of Concrete Structures and Design. Procedures for Upgrading (Redesign)*. Boletín C.E.B. nº 167 (1983), p. 288.
- [8] Shambira, M.V.; Nounu, G. On the effect of time-dependent deformations on the behavior of patch-repaired reinforced concrete short columns. *Construction and Building Materials*. Vol.14/8 (2000), pp. 425-432.
- [9] Sharif, A.; Rahman, M. K.; Al-Gahtani, Ahmad S.; Hameeduddin, M. Behaviour of patch repair of axially loaded reinforced concrete beams. *Cement and Concrete Composites*. Vol.28/8 (2006), pp. 734-741.
- [10] Aurrekoetxea, J.R. *Reparación de pilares con daños parciales localizados*. Universidad de Burgos (Tesis Doctoral), 2009.
- [11] Pellegrino, C.; da Porto, F.; Modena, C. Rehabilitation of reinforced concrete axially loaded elements with polymer-modified cementitious mortar. *Construction and Building Materials*. Vol.23/10 (2009), pp. 3129-3137.

- [12] Pellegrino, C.; da Porto, F.; Modena, C. Experimental behaviour of reinforced concrete elements repaired with polymer-modified cementitious mortar. *Materials and Structures*, Vol.44/2 (2011), pp. 517-527.
- [13] Da Porto, F.; Stievanin, E.; Pellegrino, C. Efficiency of RC square columns repaired with polymer-modified cementitious mortars. *Cement and Concrete Composites*. Vol.34/4 (2012), pp. 545-555.
- [14] UNE-EN 1504-9. *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón - Parte 9: Principios generales para el uso de productos y sistemas*. 2011.
- [15] Pellicer Armiñana, T.M., Calderón García, P.A., Ortega Palanco, A.I. Reparación de pilares de hormigón armado: estudios previos. *4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios PATORREB 2012*, Santiago de Compostela, Abril, 2012.
- [16] Tilly, G.P., Jacobs, J. Concrete repairs: Performance in service and current practice. CONREPNET Thematic network on performance-based remediation of reinforced concrete structure. IHS BRE Press, 2007.
- [17] UNE-EN 1504-2. *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón - Parte 2: Sistemas de protección superficial para el hormigón*. 2005.
- [18] UNE-EN 1504-10. *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón - Parte 10: Aplicación "in situ" de los productos y sistemas y control de calidad de los trabajos*. 2006.
- [19] Swedish Standard SIS 05 59 00 - *Pictorial Surface Preparation Standards for Painting Steel Surfaces*, 1967.
- [20] DIN 55928-4. *Corrosion protection of Steel structures by the application of organic or metallic coatings. Part 4: Preparation and testing of surfaces*. 1979.
- [21] ISO 8503-1. *Preparation of steel substrates before application of paints and related products. Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates. Part 1: Specifications and definitions for ISO surface profile comparators for the assessment of abrasive blast-cleaned surfaces*. 2012.