

METODOLOGIA DE EVALUACION DE PATOLOGIAS PARA LA REPARACION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

DiMaio A.A.⁽¹⁾. –Traversa L.P.⁽²⁾. – Sota J.D.⁽³⁾

Laboratorio de Entrenamiento multidisciplinario para la Investigación Tecnológica –LEMIT, calle 52 y 121 (1900) La Plata. Buenos Aires. Argentina. - TE. 0540221-4831142/44.
Email: jdsota@netverk.com.ar

Palabras claves : Patologías-Hormigón-Corrosion-Fuego-Alcali-agregado

RESUMEN

Las estructuras de hormigón armado son proyectadas y construidas para satisfacer requisitos funcionales durante un cierto tiempo, sin que se produzcan costos inesperados por mantenimiento y reparaciones. Existen algunas recomendaciones y Reglamentos, como el Código Británico de Puentes, que especifica una vida proyectada de servicio de 120 años, y el Código Británico para Edificios Agrícolas que, en ciertas circunstancias, permite tan sólo 10 años. Normalmente los códigos suponen una vida proyectada de servicio de 50 años, ese es el caso del Reglamento Argentino CIRSOC201-2005. Se deduce que el fin de la vida proyectada no implica la demolición de la estructura, sino que a partir de ese momento se incrementa el costo de mantenimiento por encima del considerado durante la vida proyectada. Sin embargo durante su vida útil las estructuras pueden manifestar variadas patologías que originan defectos, daños o deterioros, siendo algunas de ellas originadas por sus materiales componentes, por su uso, por el ambiente, etc. Ante esto es necesario tener metodologías de evaluación que permitan diagnósticos precisos para resolver estas patologías. En este trabajo se presenta una metodología de evaluación con estudios y recomendaciones para la reparación de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión de armaduras, fuego y reacción álcali-agregado.

(1) Investigador CONICET-LEMIT. Profesor Universidad Tecnológica Nacional.

(2) Investigador CIC-LEMIT. Director del LEMIT.

(3) Profesional Principal CIC-LEMIT. Docente Universidad Tecnológica Nacional

1. INTRODUCCION

Muchas de las patologías de las estructuras armadas o pretensadas están relacionadas

con la durabilidad y un número pequeño debido a defectos provocados por la capacidad de carga de la estructura, a los que podrían sumarse los accidentes o

imprevistos, tal el caso de incendios. Como es conocido, un importante conjunto de factores influyen el comportamiento del hormigón, entre los cuales pueden citarse el diseño, materiales, construcción y condiciones de servicio y de exposición. Los problemas son entonces el resultado de una combinación de los factores indicados.

En la tabla I se indican los efectos y las causas más comunes que pueden presentarse en las estructuras de hormigón armado, las cuales pueden producirse en cualquier etapa de la vida de la estructura.

Anomalía	Causa
Defecto	Diseño Materiales inadecuados Construcción deficiente
Daño	Sobrecarga no considerada Derrames químicos Sismos Temperatura (Fuego)
Deterioro	Congelación y Deshielo Erosión Corrosión de armaduras Reacciones deletéreas Ataque por sulfato Ataque por ácidos

El procedimiento o metodología adoptada para la evaluación de estructuras debe seguir un orden lógico que permita conocer el comportamiento de los materiales en la estructura y el grado de afectación, con el menor esfuerzo en lo que respecta a tiempo y costos. La información a obtener debe ser cualitativa y preferentemente cuantitativa, en particular, cuando debe procederse al refuerzo o reparación de la estructura afectada.

Las técnicas de ensayo a aplicar para determinar el grado de deterioro o bien cuantificar en qué estado se encuentra una estructura o elemento estructural de la misma, dependen del tipo de patología que presente. Existe una diversidad de ensayos como los Destructivos, Semi-Destructivos y No Destructivos, que se utilizan habitualmente. En la tabla II se indican algunos de ellos en función de la característica que se desea evaluar.

La inspección visual, el Ensayo No Destructivo (END) más antiguo, se efectúa en primera instancia y permite tener una noción de las condiciones generales y particulares de la estructura afectada con algún tipo de patología. Además, es una inspección económica y sumamente confiable. Aproximadamente el 80% de la información más relevante puede lograrse mediante una inspección visual la que equivale al 20% del costo total de la inspección.

Tabla I: Causas de la presencia de defectos, daños y deterioro

En la figura 1 se desarrolla un esquema de relevamiento de patologías, acompañado con la secuencia de documentación y ensayo hasta llegar a las recomendaciones finales para la reparación o mantenimiento de la estructura.

2. DIFERENTES CASOS DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS CON PATOLOGÍAS

2.1. Estructuras afectadas por corrosión

La evaluación de estructuras afectadas por corrosión puede ser efectuada de acuerdo al esquema indicado en la Figura 1, que puede emplearse en otros casos con distintas patologías, variando los daños a evaluar y los ensayos a realizar.

Para definir los deterioros por corrosión pueden emplearse las recomendaciones del Comité Eurointernacional du Béton (CEB-Bulletin N°162), que para niveles de daños alto se requiere una rápida intervención, ya que la estructura posee una reducción significativa de la sección de las barras (> 10%), con fisuraciones y desprendimientos del recubrimiento muy extendido en todas las áreas, por lo cual la vida residual se encuentra fuertemente afectada. En el caso del nivel medio, cuando existen elementos flexados, puede aconsejarse el apuntalamiento. El nivel bajo indica que existen solamente signos iniciales de corrosión, por lo cual la estructura presenta teóricamente una larga vida residual sin necesidad de intervención.

Tabla II: Ensayos para evaluar diferentes propiedades del acero y hormigón

Material/ estructura	Propiedad a evaluar	Técnica de inspección o ensayo
----------------------	---------------------	--------------------------------

Hormigón	Resistencia	- Testigos : examen visual, rotura, etc. - Ultrasonido
Hormigón Armado	Uniformidad Fisuras y defectos visibles Delaminación Propiedades del hormigón o acero Permeabilidad / Absorción	a) Propiedad cercana a la superficie : - Testigos : examen visual, rotura, etc. - Resistencia a la penetración (Windsor), Pull-off, Break-off, - Esclerometría (según edad) b) Propiedad interna del hormigón : - Testigos : examen visual, rotura, etc. - Ultrasonido
Estructuras	Presencia de armaduras y espesor de recubrimiento	- Pachometer - Extracción de testigos - Radiografía
	Carbonatación	- Ensayo con fenolftaleína
	Presencia de cloruros y su difusión Presencia de sulfatos	- Extracción de testigos para análisis en laboratorio
	Corrosión de armaduras	- Potencial de corrosión - Resistividad - Velocidad de corrosión
	Reacción álcali-sílice	- Análisis petrográfico del hormigón y de los agregados. - Ensayos de expansión en laboratorio
	Congelación y deshielo	- Análisis petrográfico - Ensayos de laboratorio

Para detectar si existe corrosión en las armaduras empotradas en el hormigón, habitualmente se determina el potencial de corrosión. Las medidas del potencial deben ser interpretadas considerando las condiciones de humedad, contaminación, calidad del hormigón, etc. Para su determinación se utiliza un potenciómetro el que está relacionado con un electrodo de referencia, el cual puede ser de $Cu/CuSO_4$.

En muchos casos resulta necesario realizar estudios de laboratorio a fin de determinar la composición química, metalográfica y el comportamiento físico-mecánico del acero, hecho que permite su caracterización. (ver Tabla II)

2.2. Estructuras de hormigón armado afectadas por altas temperaturas.

La intensidad del fuego en las estructuras varía principalmente con la relación tiempo-temperatura, que depende de un número importante de factores, como por ejemplo la existencia y tipo de combustibles en la estructura afectada, sus características de combustión, las dimensiones del ambiente,

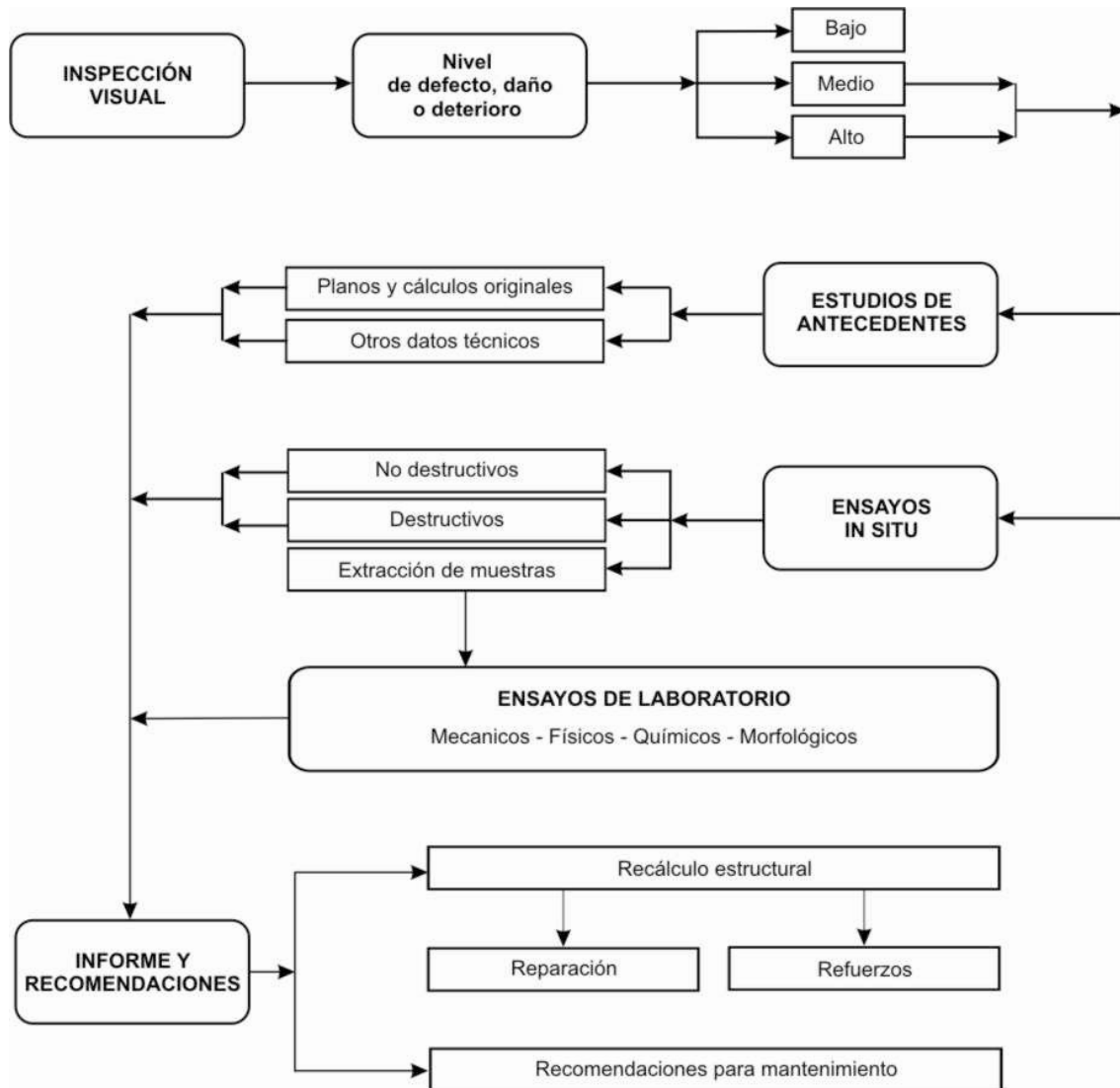
las propiedades térmicas de los materiales componentes y el nivel de ventilación como así también del efecto del viento.

Los factores mencionados varían en una misma estructura, por lo cual resulta dificultosa la evaluación del estado de cada uno de los elementos estructurales, ya que en cada uno de ellos seguramente la relación tiempo-temperatura es diferente y por lo tanto la temperatura máxima alcanzada en el interior será también diferente.

En los casos de incendio de estructuras de hormigón armado, la temperatura en el ambiente puede llegar a los 1000 °C, hecho que afecta la capacidad de carga al producirse cambios físicos y químicos en los materiales componentes (hormigón y acero), en la interacción entre los materiales y por consiguiente la de los elementos estructurales que los componen.

Las altas temperaturas provocan la fisuración, desprendimientos, cambio de coloración, etc., que son los más notables a simple vista.

Figura 1: Esquema de evaluación



durabilidad y otras propiedades de los elemento estructurales afectados.

Para realizar una evaluación del daño producido se puede seguir también las secuencias de la figura 1 en una estructura afectada por fuego, debiendo ser cuantificados los siguientes parámetros:

- Temperatura alcanzada durante el incendio
- Duración del incendio
- Temperatura alcanzada en el interior de los elementos afectados
- Efecto sobre las propiedades del hormigón y el acero de las temperaturas durante el calentamiento y en el enfriamiento
- Evaluación de los cambios en las propiedades de los materiales que puedan hacer peligrar la vida útil de la estructura o de los elementos afectados
- Posibilidad técnica y costos de reparación a fin de recuperar la resistencia, rigidez,

Debe considerarse que a pesar que la temperatura puede alcanzar niveles elevados, al ser el hormigón un material con una baja conductividad térmica, solamente las capas exteriores de los elementos son las que sufren los efectos más importantes. Este fenómeno está directamente relacionado con el tiempo de exposición, las condiciones de exposición, la forma de la sección y tipo de elemento. En el caso de incendios severos se produce la carbonatación en la zona superficial de los elementos expuestos, al poco tiempo de ocurrido, pudiendo alcanzar profundidades de hasta 3 cm, hecho que si no es debidamente considerado puede provocar la posterior corrosión de las armaduras por disminución del pH (pérdida de alcalinidad). A modo de ejemplo puede indicarse que en aquellos casos en que se desee evaluar la calidad de hormigones afectados por temperatura mediante algún método No

Destructivo o Semi-Destructivo, como podría ser el martillo de rebote, si no se tiene en cuenta el hecho indicado pueden realizarse apreciaciones de la calidad erróneas, ya que la carbonatación produce un endurecimiento superficial y dado que el método evalúa la dureza de las capas superficiales el resultado no resulta representativo del hormigón.

En los elementos de hormigón armado debido a las diferentes velocidades en que ocurre la dilatación térmica del acero y el hormigón, la elevación de la temperatura produce la rotura de la adherencia entre las armaduras y el hormigón. Esta situación puede originarse también entre los agregados y la matriz desprendidos fundamentalmente de la composición petrográfica del agregado.

En aquellos casos en que el hormigón es enfriado con chorros de agua, el "shock" térmico que se produce conduce a un incremento de la fisuración. Por consiguiente el enfriamiento rápido con agua causa mayores daños que la temperatura, formándose fisuras que provocan desprendimientos de las capas exteriores del hormigón.

Experiencias propias indican que las velocidades ultrasónicas decaen sensiblemente y en porcentajes considerables respecto a los valores iniciales, hecho que es más notorio a medida que se incrementa la temperatura de exposición y la forma de efectuar el enfriamiento. Las disminuciones de las resistencias a compresión también son significativas pero de menor magnitud que la velocidad, principalmente para temperaturas de 500° C.

Cuando se quiera evaluar, mediante el método ultrasónico, el estado interno de elementos estructurales que han estado expuestos a altas temperaturas, puede llegarse a una conclusión errónea respecto a la estimación de la resistencia a compresión. Por lo tanto, el método ultrasónico puede ser empleado en la misma estructura para diferenciar, elementos que no sufrieron ningún tipo de afectación y los que fueron afectados.

Si se desea conocer la resistencia efectiva a compresión de elementos afectados, el método ultrasónico conduciría a errores importantes en la estimación ya se ve más afectada la velocidad que la resistencia. En tal sentido debe recurrirse a la extracción de testigos a fin de determinar su resistencia a compresión lo cual permite determinar otras características de los materiales que lo componen.

2.3. Estructuras afectadas por la reacción álcali-sílice

Esta reacción deletérea puede presentarse en cualquier tipo de estructura, (edificios, puentes, presas, pavimentos, etc.), siempre que exista humedad en contacto con la misma. Las manifestaciones más frecuentes son la fisuración del hormigón, exudación a través de las fisuras, reventones localizados, deformaciones, etc. En el caso del hormigón armado la fisura es paralela a las armaduras principales.

Como datos importantes para determinar si la patología corresponde a la RAS, es necesario verificar las condiciones higrotérmicas ambientales en donde se encuentra emplazada la estructura y relacionar la forma de afluencia de humedad hacia ella. Además, se deberán conocer las características del suelo, agua y otros medios de contacto con la estructura, para evaluar posibles aportes de álcalis (hidróxidos de sodio y potasio) necesarios para la reacción. Todos los datos que surjan de los ensayos deben conducir a una conclusión precisa sobre la existencia de este tipo de patología, ya que si se dictamina solamente con lo evaluado durante la inspección visual, pueden cometerse errores ya que existen otras patologías de similares características, como por ejemplo fisuraciones causadas por un secado rápido.

Existen estructuras con RAS que han sido evaluadas mediante el método ultrasónico, para determinar si la masa interna del elemento se encontraba sin deterioros o bien si poseía un grado de fisuración importante

En el caso de estructuras en las cuales no existen datos de los materiales utilizados para la elaboración del hormigón, resulta necesario efectuar un muestreo riguroso mediante la extracción de testigos, a fin de realizar estudios sobre los materiales componentes y sobre los productos expuestos extraídos de fisuras, oquedades, etc.

En laboratorio, en primer término, se debe realizar un análisis del hormigón, principalmente mediante corte delgado, identificando las características petrográficas de los agregados, existencia de geles producto de la reacción y detección de microfisuración. También, se puede recurrir a estudios mediante microscopía electrónica.

Además, es necesario determinar si la reacción está agotada o si existe posibilidad de que la misma continúe en el tiempo, para lo cual deben realizarse ensayos de expansión en testigos extraídos de la estructura. Dichos ensayos deben hacerse sobre zonas con manifiesta presencia de la RAS y en zonas en donde en principio no se ha detectado esta patología. En ambos casos se evalúa en las condiciones de estacionamiento de la Norma ASTM C 1293. En la tabla III, se vuelcan algunos resultados de obras en las que se determinaron expansiones a la edad de 52 semanas, sobre testigos de hormigón para evaluar la posibilidad de la existencia de reacción remanente en la estructura.

Tabla III – Expansiones remanentes de RAS en testigos de hormigón

Obra	Expansión remanente (%)
Dique	0.014
Puente	0.042
Pista Aeropuerto	
Con Patologías de RAS	0.017
Sin Patologías de RAS	0.185

CONSIDERACIONES FINALES

Como conclusión, puede plantearse que:

- La inspección visual es una metodología a emplear en primera instancia para evaluar estructuras que presentan patologías, ya que permite obtener rápidamente una noción sobre las condiciones generales y particulares en que se encuentra.
- En estructuras de características complejas, desde el punto de vista de su diseño estructural o de las condiciones de agresividad del medio de exposición, la inspección visual resulta mucho más efectiva si se

realiza dentro de un Plan de Inspecciones preestablecido.

- Existen diferentes técnicas de ensayo (Destructivos, Semi-Destructivos y No Destructivos) que se pueden aplicar con el fin de determinar el grado de anomalía (defecto, daño, deterioro) que presenta una estructura o elemento estructural de la misma. La elección depende del tipo de patología y de las propiedades de los materiales que se desea evaluar.
- La corrosión de las armaduras empotradas en el hormigón es una de las patologías que debe ser evaluada cuidadosamente debido a los problemas de seguridad estructural que puede ocasionar. La determinación del potencial y velocidad de corrosión son los ensayos que habitualmente se realizan "in situ" a fin de cuantificar el grado de alteración y la incidencia del mismo en el futuro. En estructuras ubicadas en ambientes marinos o industriales, la determinación del contenido en profundidad de los cloruros (difusión) es otra de las técnicas a utilizar.
- En estructuras que presentan un grado de deterioro importante debido a RAS o altas temperaturas, es recomendable la extracción de muestras para su estudio en laboratorio. El empleo de END en forma individual puede conducir a evaluaciones erróneas, por lo cual es imprescindible que el mismo sea utilizado con exclusividad para evaluar comparativamente el estado interno de elementos afectados respecto a otros de iguales características sin ningún tipo de afectación

REFERENCIAS

- *fib*. "Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures". Bulletin 22. March 2003.

- fib. "Management, maintenance and strengthening of concrete structures". Bulletin 17. April 2002.
- DURAR. "Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado". Red Temática XV.B. Durabilidad de la armadura. CYTED. 1997.
- Di Maio, A.A., Eperjesi, L., Gassa, L., Traversa, L. and Zerbino, R. "Exposed Reinforcement: Assessment of Corrosion Activity". Journal Concrete International. Vol. 22 N° 3. Marzo 2000. pp. 47-51.
- Barragán, B., Di Maio, A.A., Giaccio, G. and Zerbino, R. "Physicomechanical properties of concrete exposed to high temperatures". Proceeding Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete. Barcelona, España. Junio 2000. pp. 983-1000.
- A. Di Maio, J.D. Sota & L.P. Traversa. "*Patología de estructuras de hormigón. Análisis de algunos casos mas relevantes ocurridos en la Argentina en los últimos años*". Proc. III Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y V Congreso Iberoamericano de Control de Calidad. La Habana, Cuba, pp 285-292
- S. Rostan "*Vida útil de las estructuras de hormigón*". Revista Hormigón N° 36. Julio-Diciembre, pp11-43, 2000.