

PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

Traversa, L.P.¹

RESUMEN

En este trabajo se presentan distintos relevamientos efectuados en estructuras de hormigón armado ubicadas en ambientes de diferente agresividad. Se analizan las patologías externas detectadas y se efectúan análisis sobre las causales que dan origen a las citadas patologías. Además, se efectúa un análisis comparativo entre los porcentajes de las causas que originan las patologías en Argentina y en países europeos.

INTRODUCCION

El hormigón, un material constituido básicamente por agregados y pasta de cemento pórtland, puede incorporar aditivos químicos, adiciones minerales activas, fibras metálicas o de polipropileno, etc., que modifican sus características tecnológicas. En la actualidad, los cementos también pueden incorporar distintas adiciones, por ejemplo, escorias granuladas de alto horno, filler calcáreo, etc.

Los agregados, en la mayoría de los casos, materiales originados en la trituración artificial o fracturación y desgaste natural de rocas, se dividen, según su granulometría, en dos fracciones: agregado grueso y agregado fino (arena). También existen agregados livianos y pesados - naturales o artificiales - que dan origen a hormigones de menor o mayor peso por unidad de volumen, de usos específicos. El cemento, el agua, los agregados y las adiciones se mezclan para constituir una masa plástica y trabajable, que permite ser moldeada de acuerdo a la forma elegida y que luego se endurece, desarrolla resistencia e interactúa con el medio en el cual se encuentra expuesta.

El cemento y el agua de mezclado, se combinan químicamente por un proceso denominado hidratación, del cual resulta el fraguado del hormigón y su endurecimiento gradual; este endurecimiento continúa bajo condiciones adecuadas de humedad y temperatura, originando un incremento de la resistencia del hormigón que alcanza un porcentaje importante de su resistencia final en el primer mes de edad. En hormigones que incorporan adiciones minerales activas este proceso tiene un mayor desarrollo si se dan las condiciones adecuadas de humedad. Además, durante la etapa de hidratación se conforma una estructura de poros y capilares interconectados entre sí y con el medio externo, la cual define entre otras características las de durabilidad del material.

La palabra "hormigón" aparece citada por primera vez, en el año 1788, en el Diccionario de las Nobles Artes para la Instrucción de Aficionados de España, definiéndolo como "argamasa compuesta de piedrecillas menudas, cal y betún que dura infinito". Es importante esta definición, ya que desde ese momento se incorpora implícitamente la duración del material como sinónimo de durabilidad y aceptando que el material tiene una duración ilimitada, concepto que se ha generalizado a través de tiempo.

¹ Investigador CIC-LEMIT, Director LEMIT

Los vocablos francés "béton" y el alemán "beton", que designan al mismo material, derivan del latín "bitumen / bituminis" que significa "lodo que se va espesando", mientras que el vocablo inglés "concrete", empleado para denominar a este material, también deriva del latín teniendo el significado de denso: compacto.

El hormigón endurecido es un material que tiene una dualidad en lo que respecta a su comportamiento resistente. La resistencia de rotura a compresión es muy superior a la resistencia a tracción, con relaciones promedio del orden de 10. Esta situación hace que el material hormigón sea ideal para soportar esfuerzos de compresión y presente comparativamente una cierta deficiencia en lo que respecta a los esfuerzos de tracción. El hormigón armado, material compuesto de hormigón y armaduras metálicas que toman, cuando están convenientemente dispuestas, los esfuerzos de tracción que el hormigón por sí solo no puede resistir, es la alternativa tecnológica encontrada a fines del siglo XVIII y que tiene su máximo desarrollo durante el siglo XX. Las propiedades fundamentales que permiten al hormigón y al acero actuar en combinación son la igualdad en el coeficiente de expansión, la adherencia entre ambos materiales, de modo que se pueden transmitir los esfuerzos sin dar lugar al deslizamiento de la barra y la protección contra la corrosión que el hormigón brinda a las barras empotradas.

Desde un marco teórico basado en experimentos y experiencias prácticas, se han formulado leyes que permiten calcular las dimensiones y cuantías de los elementos de hormigón armado para soportar cargas, con adecuados niveles de seguridad. Hasta el presente, no existen reglamentaciones que analicen el comportamiento durable en forma similar al resistente, ya que todas las recomendaciones son en la actualidad prescriptivas, no existiendo normativas para considerar a los factores ambientales como una carga. Las características particulares de este material compuesto, como así también, los últimos adelantos en el uso de aditivos y adiciones minerales hacen prever que el siglo XXI tendrá al hormigón armado como el material por excelencia para la construcción.

DURABILIDAD DE LOS MATERIALES Y VIDA UTIL DE LAS ESTRUCTURAS

El envejecimiento de los materiales, entendiendo este concepto como el deterioro de algunas de sus propiedades en el tiempo, es un proceso natural e inevitable, ya que siempre evolucionan hacia formas más estables. En muchos casos, tratan de volver a la condición en la cual se encontraban en la naturaleza y que el hombre, por procesos tecnológicos, modifica entregando energía. Desde el punto de vista de su empleo, el problema no es el deterioro que sufren sino la cinética que adquiere el proceso y su vinculación con la vida prevista para la estructura.

El concepto antes citado entra en contradicción con la creencia que el material tiene una duración ilimitada implícita en la definición a la que se hizo mención con anterioridad. En reiteradas oportunidades, se vincula la palabra "hormigón" con el Imperio Romano, una de las primeras civilizaciones que empleó un material de características similares compuesto por cenizas volcánicas, cal, piedra y agua, existiendo hasta nuestros días estructuras dignas de mencionar como el Acueducto de Segovia (109 AC) y el Panteón Romano (27 AC), ejecutadas en hormigón liviano. Frente a esta situación, en la actualidad se tiende a definir la vida útil de las estructuras en la cual las mismas deben mantener una serviciabilidad satisfactoria sin costos inesperados en su mantenimiento.

Como fue planteado, existen antecedentes sobre construcciones muy antiguas que pueden considerarse como obras paradigmáticas desde el punto de vista de su durabilidad, ya que han mantenido sus propiedades y características en el transcurso del tiempo, pero muchas otras han tenido comportamientos patológicos. En el año 1908 la demolición de una fábrica en Hamburgo, Alemania, permitió verificar la existencia de hierros de anclajes empotrados en el hormigón desde hacía 50 años sin ningún tipo de alteración, confirmando la hipótesis de la protección del hormigón al acero. Sin embargo, en los últimos años, se ha informado sobre un número elevado de estructuras ubicadas en distintos tipos de ambientes afectadas por corrosión, alguna de ellas a los pocos años de construidas.

Los deterioros por durabilidad del hormigón se vinculan con su microestructura y con las propiedades de transporte de los fluidos dentro de su masa. El hormigón es un material compuesto cuya microestructura está constituida por agregados, pasta y aire (naturalmente o intencionalmente incorporado). También deben considerarse los vacíos de los agregados y de la pasta. Esta situación origina un material poroso cuyas propiedades de transferencia de materia dependen de los tamaños de los poros y fundamentalmente de su conectividad. Los procesos típicos de transporte que interesan desde el punto de vista de la durabilidad del hormigón armado se vinculan con el transporte de agua bajo presión (permeabilidad) o por absorción capilar, la difusión de iones bajo gradientes de concentración y el transporte de iones en el agua.

A los aspectos antes mencionados, y considerando que la pasta de cemento hidratada es la matriz que contiene a los agregados finos y gruesos, debe sumarse el efecto de las interfaces pasta agregado. Las interfaces o zonas de transición (espesor aproximado: 50 μ m) presentan una mayor porosidad capilar, mayor tamaño de poros capilares y una mayor proporción de hidróxido de calcio orientado que en el interior de la masa, atribuible al efecto pared y a la hidratación unilateral. Esta zona presenta, para la mayoría de los tipos petrográficos de agregados, características de extrema debilidad para los procesos de durabilidad del material.

El modelo que esquematiza todos los procesos de degradación química o electroquímica del hormigón armado, el cual fue definido originalmente para los procesos de corrosión, incluye un período de iniciación (PI) y uno de propagación (PP), cuya sumatoria define la vida útil de la estructura.

El PI es el tiempo que tardan las sustancias agresivas y las reactivas en ponerse en contacto. En algunas reacciones este período de tiempo es elevado ya que las velocidades de transporte de las sustancias agresivas en la estructura porosa del hormigón son lentas. El PP es el tiempo en el cual se producen las reacciones que ocasionan los deterioros para la seguridad, funcionalidad o estética de la estructura.

Si bien los mecanismos de degradación del hormigón armado son conocidos y existen las tecnologías para atenuarlos o eliminarlos, son muchas las estructuras que se degradan antes de cumplir la vida útil prevista por causas atribuibles al proyecto, a los materiales empleados y/o a la construcción (1-3).

La durabilidad y, por lo tanto, la vida útil de la estructura está condicionada por el diseño y la calidad efectiva del hormigón armado que depende de los componentes del material y fundamentalmente del proceso de ejecución de la estructura que incluye la

colocación, compactación y curado del hormigón. El diseño estructural, (distribución arquitectónica y la selección ingenieril de las formas estructurales), cobra una significativa importancia en su relación con el emplazamiento, concepto que se aparta del enfoque tradicional que centra exclusivamente el comportamiento en servicio de las estructuras en la calidad del hormigón armado. Es conocido que los problemas de desagüe o estancamiento de agua, que se encuentran fuertemente vinculados con el diseño estructural, son factores determinantes en los procesos de deterioro. Los diseños simples y robustos de las estructuras han originado, en la mayoría de los casos, un comportamiento adecuado respecto a su durabilidad.

PATOLOGIAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

A los problemas de durabilidad intrínsecos del hormigón armado, las estructuras pueden disminuir su vida útil debido a patologías que tienen su origen durante la etapa del proyecto, durante la construcción como así también en modificación que pueden introducirse durante su vida en servicio.

Las patologías suelen agruparse en cuatro causales de deterioro: Proyecto (deficiencias de cálculo, sobrecargas no tenidas en cuenta, fundaciones inadecuadas, etc.), Materiales (características inadecuadas del hormigón, corrosión de armaduras, durabilidad del hormigón, materiales inadecuados, etc.), Construcción (fallas de control, falta de control, etc.), Uso y Mantenimiento (sobrecargas, modificación en el medio ambiente, etc.). Esta división permite realizar estudios comparativos pero puede presentar zonas en las causas se superponen mientras que en otros casos los deterioros de la estructura tienen que ser atribuidos a una sumatoria de causales.

En la Tabla 1, se informan resultados de una encuesta realizada en países europeos con un número significativo de casos, en los cuales entes públicos o privados informan sobre patologías detectadas en estructuras de hormigón armado (4). Además, se incorpora a dicha tabla un relevamiento realizado en Argentina, correspondiente a estudios ejecutados en el LEMIT entre los años 1975-1990 (5).

Tabla 1: Causas de Deterioro en Estructuras de Hormigón Armado (Proyecto: P, Construcción: C, Materiales: M, y Uso y Mantenimiento: UM)

Países	Casos	Causas				
		P	C	M	UM	Otros
Argentina	197	19	22	44	10	5
Bélgica	1800	46	22	15	8	9
Dinamarca	601	37	22	25	9	8
Rumania	832	38	20	23	10	8
Alemania	1576	40	29	14	9	7

En la Argentina, la alta incidencia porcentual de la causa Materiales debe ser atribuida a la incorporación de las sub-causas "Características inadecuadas del hormigón", "Durabilidad" y "Corrosión de armaduras". Este hecho hace elevar el porcentual correspondiente y plantea diferencias con datos indicados en la encuesta europea.

En un relevamiento realizado, siguiendo el esquema de encuestas, sobre la existencia de deterioros en diques y presas, se informan 1.105 casos correspondientes a 33 países, existiendo en el mundo un número total de 14.500 diques y presas. Debe mencionarse que Argentina informa solamente de un caso con deterioro, originado en una acción natural o imprevista (embancamiento de la presa). El análisis de la información muestra que en los diques y presas de hormigón, las patologías se atribuyen en un 45 % a causales vinculadas con los materiales y un 25 % con las fundaciones. En el hormigón se han verificado patologías atribuibles principalmente a problemas térmicos y a aspectos durables (congelación y deshielo, sulfatos, RAS, etc.).

Un relevamiento de estructuras de hormigón armado, realizado en el área costera (máximo 200 metros de la línea de mareas) de la Provincia de Buenos Aires, en la cual los vientos predominantes que arrastran sales agresivas, en especial cloruros, tienen dirección mar-costa, muestra que un porcentaje elevado del orden del 15 %, presentan problemas visibles de corrosión como por ejemplo: manchas de óxidos, fisuración o desprendimientos del hormigón de recubrimiento (6-8).

En la Tabla 2 se informa un relevamiento de puentes viales (PV) de hormigón armado, ubicados en ambientes rurales o marinos de la Provincia de Buenos Aires. Se incluye la distancia al mar (d), la edad (e), la longitud total del puente (lt), el número de tramos (n^ot), la densidad saturada y superficie seca (D_{ss}), la porosidad (P) y la carbonatación (C) del hormigón.

Algunos otros relevamientos, realizados sobre estructuras ubicadas en ambientes moderadamente agresivos, muestran comportamientos patológicos del hormigón y del acero, observándose procesos corrosivos en sus armaduras a edades tempranas por deficiencias en el espesor y/o calidad del hormigón de recubrimiento (9).

Una recopilación de informes existentes en los archivos del LEMIT, sobre la evaluación de los parámetros estadísticos de la resistencia determinada en testigos extraídos de estructuras construidas en distintos tiempos, muestra que el desvío estándar es aproximadamente del mismo orden para los diferentes períodos evaluados (ver Tabla 3). Esta situación contrasta con el nivel de uniformidad que puede lograrse actualmente en las plantas elaboradoras de hormigón (10).

Tabla 2: Patologías de puentes carreteros ubicados en ambientes rurales y marinos de la provincia de Buenos Aires.

PV	Amb.	d (m)	e (años)	lt (m)	n ^o t	Patologías Externas Detectadas	D _{sss}	P (%)	C (mm)
1	Rural	---	30	112	18	Sin Patologías	2.42	8.9	10
2	Rural	---	50	15	1	Fisuras y geles	2.40	10.5	12
3	Rural	---	50	30	2	Lixiviación, manchas de óxido y algunas fisuras longitudinales	2.42	12.1	---
4	Rural	---	60	5	5	Lixiviación, manchas de óxido y muchas fisuras longitudinales	2.23	19.3	15
5	Rural	---	40	20	1	Lixiviación, desprendimientos del hormigón de recubrimiento y pérdida de sección de la armadura	2.45	24.1	---
6	Rural	---	60	25	2	Lixiviación y desprendimientos de hormigón de recubrimiento	2.60	---	---
7	Rural	---	30	15	1	Manchas de óxido	2.54	---	---
8	Rural	---	25	30	2	Sin patologías	2.32	14.8	---
9	Rural	---	30	30	2	Manchas de óxido y muchas fisuras longitudinales	2.48	9.1	---
10	Rural	---	30	45	3	Sin patologías	2.53	9.6	18
11	Rural	---	30	60	4	Fisuras de flexión en vigas (espesor < 0.3mm)	2.45	---	20
12	Rural	---	65	30	1	Sin patologías	2.54	---	15
13	Rural	---	60	15	1	Sin patologías	2.48	---	10
14	Rural	---	35	30	3	Fisuras de contracción plástica en losas	2.46	---	10
15	Marino	200	67	15	2	Manchas de óxido y muchas fisuras longitudinales	2.24	18.4	30
16	Marino	100	30	15	2	Manchas de óxido	2.38	13.5	10
17	Marino	600	65	10	1	Manchas de óxido y fisuras de flexión en vigas (espesor < 0.2mm)	2.43	11.9	20
18	Marino	150	62	15	1	Sin patologías	2.41	10.0	---
19	Marino	100	60	15	1	Sin patologías	2.43	12.0	---
20	Marino	120	25	35	7	Desprendimiento del Hormigón de recubrimiento y pérdida de sección de hierro	2.19	17.2	---

Tabla 3: Resistencia de media de rotura a compresión (f'_{cm}), coeficiente de variación (δ) y desvío estándar (s) determinados sobre testigos extraídos (n) en estructuras construidas en distintas décadas.

Estructura	Década	n	f'_{cm} (MPa)	δ (%)	s (MPa)
1	1940	72	21.0	23.4	4.9
2		70	16.9	22.5	3.8
3	1950	21	30.8	14.8	4.5
4		8	15.4	26.8	4.1
5	1970	15	30.2	12.9	3.9
6		12	11.2	26.8	3.0
7		61	24.7	24.0	5.9
8	1980	15	21.6	22.0	4.8
9		20	23.1	31.6	7.3
10	1990	3	17.8	29.2	5.2
11		6	18.2	22.2	4.0

CONSIDERACIONES FINALES

De la información detallada en este trabajo pueden plantearse algunas consideraciones finales:

- De acuerdo a relevamientos realizados durante el período 1975/90, puede plantearse que entre las causas de deterioro de las estructuras, las atribuidas al hormigón y a sus Materiales constituyentes tiene en la Argentina un nivel significativo, ya que más del 40% del total de las estructuras estudiadas están afectadas por estas causas. Las causas debidas a Construcción y Proyecto, también presentan porcentuales importantes de incidencia, mientras que la de Uso y Mantenimiento se ubica en un cuarto lugar de importancia, llegando al 10% del total de casos evaluados. Esta situación puede haberse modificado en la actualidad ante la generalización de los procesos industriales de elaboración y transporte del hormigón.
- En estructuras construidas en los últimos 20 años, se ha detectado en obra que los procesos de compactación y curado son deficientes o nulos. También, se verifica en muchos casos, que no se alcanzan a ejecutar en obra hormigones homogéneos (bajos coeficientes de dispersión).
- En algunas estructuras ubicadas en ambientes de agresividad moderada se detectan, a edades inferiores a 20 años, procesos incipientes de corrosión de sus armaduras, debidos a la existencia de espesores de recubrimiento nulos o mínimos y carbonatados. En las ubicadas en ambientes agresivos (marinos o industriales), el

problema es más crítico por la presencia de los cloruro que difunden en el hormigón, observándose porcentuales elevados de estructuras afectadas por corrosión.

Puede plantearse, entonces, de manera general, que al no aplicarse adecuadamente los adelantos tecnológicos desarrollados en los últimos años, vinculados con la elaboración y ejecución del hormigón armado como así también con el conocimiento del comportamiento frente a distintos medios agresivos, muchas estructuras ven reducida su vida útil. Las patologías detectadas en los distintos relevamientos realizados podrían haber sido evitadas o disminuidos sus efectos sin aumentos sensibles en el costo de las mismas.

REFERENCIAS

- (1) Bicsok I. "La Corrosión del hormigón y su protección", Ed. URMO. Bilbao, España, 1972.
- (2) Aranha P. M. S. y Dal Molin D. C. C. "Morbidades das estruturas de concreto armado na regioa Amazônica". Proc. XII Reunión Técnica AATH, Argentina, 1995, pp 427-436.
- (3) Habib M. Zein and Al – Abidien "Environmental impact on concrete practice", Part 1", Concrete International, Nov.1998, pp 48-54.
- (4) Vieitez Chamoza J. A. "Patología estructural, aspectos químicos, normativos y estadísticos". Univ. del País Vasco. Esc. Superior de Ingenieros Industriales. Tesis doctoral, Bilbao, España, 1984.
- (5) Di Maio, A. A., Sota, J. D. y Traversa, L. P. "Patología de estructuras de hormigón: Análisis de algunos de los casos más relevantes ocurridos en la Argentina en los últimos años". Revista de Ciencia y Tecnología UTN Reg. La Plata, Año 2, N°2, 1996, pp 23-29.
- (6) Traversa L. P., "Durabilidad del hormigón armado en atmósferas corrosivas". Ciencia y Tecnología del Hormigón N°1, 1991, pp 7-22.
- (7) Giovambattista, A., Traversa L. P. y Violini, D. "Alterabilidad de estructuras de hormigón armado en ambientes industriales y en ambientes marinos". Proc. Colloquia'85. Buenos Aires, 1985, Tomo I, pp 291-304.
- (8) Traversa L. P., "Durabilidad de estructuras de hormigón armado ubicadas en atmósferas corrosivas". Proc. Intercambio Nacional de Experiencias. Comportamiento in situ de las Construcciones. Arad, Rumania, 1988, pp 198-205.
- (9) Traversa L. P., Giovambattista A., Di Maio A. A. y Eperjesi L. "Performance of concrete structures in Argentine environments". Proc. Symposium Structures for the Future. The Search for Quality". IABSE, Río de Janeiro, Brasil, 1999, pp 224-230.
- (10) Traversa L. P., Giovambattista, A., Di Maio, A. A., y Eperjesi, L., "Comportamiento en servicio de estructuras de hormigón armado de edades diferenciadas: Análisis comparativo de estructuras construidas en la Pcia. de Buenos Aires, Argentina". Proc. V Congreso Iberoamericano de patologías de las construcciones y VII congreso de control de calidad CONPAT 99, Montevideo, Uruguay, Vol 2, 1999, pp. 617-622.