

CARBONATACION Y CORROSION POR CARBONATACION: CAUSAS PREVISIBLES- ESTUDIO DE CASO

Valletta, G. , Martínez Martusciello, P.

Facultad de Arquitectura UDELAR - Bvar. Artigas 1031 – 0059822097218 –
graval@adinet.com.uy-paulamartinez23@yahoo.com

RESÚMEN

Desde hace más de 80 años hemos construido todos nuestros edificios públicos y/o privados con estructura de hormigón armado.

Debido a actuales exigencias de plazos de obra, costos etc. cada vez más se dejan de lado normas simples de buena calidad del construir y se realizan edificios que súbitamente presentan patologías. Por otra parte el conocimiento sobre las bondades y posibles debilidades de este noble material ha avanzado y por lo tanto debemos tener presente y difundir la necesidad de respetar ciertas condiciones desde el diseño de la estructura a efectos de evitar en lo posible patologías de origen.

El objetivo de este trabajo es contribuir a la disminución de la presencia de patologías causadas a raíz de la carbonatación del hormigón en los edificios, sean éstos construidos o por construir, a través de un ejemplo concreto. O sea de una intervención realizada para solucionar patologías en un edificio construido hace unos 30 años, sobre la Rambla de Punta de Este, y con las características constructivas – estructurales de la época.

Este edificio se construyó con mínimos recubrimientos y soluciones estructurales muy exigidas porque aun no se sabia de las posibilidades de rápida carbonatación y desprotección de las armaduras, cosa que hoy ya conocemos y por lo tanto debemos insistir en los cuidados necesarios para que estos daños se minimicen.

INTRODUCCIÓN

Según fuentes consultadas, durante la construcción de un edificio, se observa que, en el proceso aparecen el 45% de todos los fallos; durante el plazo de garantía el porcentaje se reduce al 17%; entre los 7 y 10 años aparece el 37% de los fallos y después de los 20 años se puede decir que los fallos se minimizan no pasando del 1%.

La presente contribución pretende analizar, a partir de un caso significativo y de la interpretación del trabajo publicado por el Ing.Rafael Talero (1), las causas, efectos y posibles previsiones para lograr, por un lado evitar y/o diagnosticar la carbonatación y consecuentemente la posible corrosión por carbonatación.

CASO DE ESTUDIO

1-Información previa

GENERALIDADES:

Se realizaron las reparaciones a la estructura de hormigón armado, de un edificio de 25 años de antigüedad frentista al Río de la Plata, compuesto por subsuelo y cuatro niveles de apartamentos. Ver fotografía 1.

CARACTERÍSTICAS:

- Climáticas – HRA elevada
- Estructura: –patines, losas, vigas y pilares de hormigón armado
- Constructivas - muros de mampostería, revoque a dos capas interior y exterior.
- Jardineras/cajones de cortinas de enrollar de H.A. salientes de las líneas de fachada.

2- Observación ocular

La fachada principal, frentista al Río de la Plata es la más afectada; las laterales presentan menos deterioro, y los contrafrentes no muestran grado de deterioro más allá de fisuras aisladas. Ver fotografías 2, 3 y 4.

En el sector inferior de vigas que componen las jardineras/cajones de cortinas de enrollar, se aprecia:

Desprendimiento de hormigón, ausencia del recubrimiento, aumento de diámetro de barras con pérdida de masa y/o ausencia parcial de las mismas. Las situaciones más comprometidas son evidenciadas en un 30% de las piezas en fachada frontal.

En vigas y losas de balcones, se dan los mismos fenómenos con menor intensidad aparente.

En lo que refiere al aspecto general del edificio, además de lo señalado, no se aprecian otras fallas salvo fisuras en los sectores de fachadas que vinculan estructura (vigas y pilares) con mampostería, a través de algunas de las cuales se filtra humedad, patologías que no guardan relación con los efectos de la carbonatación, pero si con las deformaciones de la estructura.

3- Ensayo

Presunción de presencia de carbonatación

Testeo a partir del frotado sobre las superficies con indicador fenoftaleína. Ver fotografías 4 y 5.

4- Diagnóstico

El tono de coloración de las piezas evidencia la existencia del fenómeno de carbonatación. Por el aspecto de las armaduras y a consecuencia de la carbonatación, se observa corrosión. Sin embargo el proceso de carbonatación (pérdida de alcalinidad del hormigón por reacción con el dióxido de carbono del aire y consiguiente despasivación de las armaduras) se encuentra en la totalidad de las superficies expuestas al aire.

El hierro en medio alcalino – el presente en el hormigón 'sano' – genera una capa no visible a simple vista de productos de corrosión. Esta capa es adherente e impermeable y por tanto disminuye la velocidad de corrosión. A esta condición se denomina estado de pasividad. Como ya se mencionó, el dióxido de carbono reacciona con la alcalinidad del hormigón,

desciende el pH del medio por debajo de 11 y el hierro se despasiva (pH: indicador de la actividad de protones y por tanto del grado de acidez o alcalinidad). El avance de la reacción del dióxido de carbono con la alcalinidad del hormigón, es por el fenómeno de transferencia de masa de difusión en los poros, desde la superficie en contacto con el aire hacia el interior del hormigón. Este frente de avance se puede determinar mediante el empleo de un indicador ácido-base, como la fenolftaleína (pH de viraje de color 8); se realiza un corte en sección del elemento a catear, se hace una aspersión de solución de fenolftaleína, la zona no coloreada está con pH inferior a 8 (y por tanto las armaduras en dicha zona están despasivadas), la zona con color fucsia está con pH alcalino y los hierros en dicha zona están en estado de pasividad. Que los hierros estén en zona no-pasiva, no es factor expreso de aparición de patologías (ni su morfología), esto también depende de las condiciones de humedad y porosidad del hormigón en la pieza. Ver fotografías 7 y 8.

5-Pautas de actuación

En el hormigón

Picado y aspersión con FENOFTALEINA en forma reiterada hasta la obtención de una coloración tenue o nula de la zona a tratar. Se trato tanto el hormigón estructural como el constructivo de cajones de cortina etc....Profundidad máxima de actuación: 15 cm a partir de NFV-. Ver fotografía 8.

En la armadura

Intervención en los sectores dañados por corrosión

Limpieza con cepillo de alambre una vez retiradas las capas de hormigón que presentan teñido intenso.

Retiro y sustitución de varillas con interrupciones.

Protección con pasta de cemento Pórtland y agua.

A posteriori se procede a la recomposición de las piezas con hormigón con granulometría de áridos variada ($5\text{mm} < F < 10\text{mm}$) y "unido" al material existente con adhesivos sintéticos. Ver fotografías 9 y 10.

Cálculo de profundidad de carbonatación en las piezas menos comprometidas

Uno de los modelos más sencillos que permite predecir la velocidad de carbonatación del hormigón armado es el que relaciona la profundidad de carbonatación con la raíz cuadrada del tiempo de exposición.

Sobre los datos obtenidos del trabajo realizado, surge que:

$$KCO_2 = \frac{XCO_2}{\sqrt{\Delta T}} \Rightarrow KCO_2 = \frac{30 \text{ mm}}{\sqrt{20 \text{ años}}} = 6.71^{-5} \text{ mm /año}$$

$$T = \left(\frac{e_c}{KCO_2} \right)^2 \Rightarrow T = \left(\frac{18 \text{ mm}}{6,71} \right)^2 = 7,20 \text{ años}$$

X_{CO_2} = Profundidad de carbonatación en mm
 K_{CO_2} = Constante de carbonatación, (mm/año)⁻⁵
T = Tiempo en años
ec = Profundidad de la armadura

Este modelo no debe ser aplicado directamente en estructuras con menos de tres años de vida, en cuyo caso se recomiendan dos o más medidas con un intervalo mínimo de seis meses

En poco más de 7 años, o sea con una antigüedad de 30 años, las armaduras que se encuentran en sectores que presentan teñido tenue, habrán sido alcanzadas por el fenómeno.

DISCUSIÓN

1 - Fundamentación teórica

HORMIGÓN - En este material compuesto, produce una red de capilares y microporos durante el proceso de evaporación de agua por el cual cambia su consistencia de plástica a sólida.

PASIVACION DEL ACERO - Un metal se encuentra pasivado cuando permanece prácticamente inalterado por largos períodos de tiempo. Cuando el acero se encuentra solo, la pasivación, corresponde a la formación de una película de óxido en la superficie del mismo, volviéndolo inmune a los agentes agresivos. El acero en el hormigón se encuentra protegido, teóricamente en condición pasiva, no corroído ya que el hormigón establece una barrera física asegurándole una estabilidad química.

RELACION HORMIGON-ACERO- CARBONATACION - La carbonatación, proceso lento que ocurre en el hormigón, implica que la cal apagada (hidróxido cálcico) del cemento reacciona con el dióxido de carbono del aire formando carbonato cálcico.

La conformación interna del hormigón junto con las fisuras que se producen durante la vida del hormigón (retracciones y dilataciones) se obtiene un material poroso y permeable favorecen la entrada de dióxido de carbono. De todas formas dificulta el ingreso del oxígeno necesario para la corrosión, disminuyendo la velocidad de ésta, pero en ningún caso deteniéndola. Dado que la carbonatación provoca una bajada de pH (ácido) esto puede llevar a la corrosión de las armaduras de acero y dañar seriamente las construcciones.

2 - Decisiones de proyecto, y procedimiento de ejecución de obras

CAUSAS DE DESTRUCCION DE CAPA PASIVANTE - Como es sabido, el alto valor de pH del hormigón, consecuencia de la generación de hidróxido de calcio durante el proceso de hidratación, crea una capa protectora al acero, cuya permanencia y estado aceptable, estará relacionada con las variaciones que el pH pueda sufrir.

Entre los principales motivos que originan la disminución del mismo, y consecuentemente la destrucción de esta envolvente protectora, están la carbonatación y/o la presencia de cloruros, los que serán los temas a desarrollar.

CARBONATACION - La variación repentina de la alcalinidad, originada por la reacción producida cuando el dióxido de carbono del medio exterior entra en contacto con los componentes alcalinos de la fase acuosa del material, es propiciada por:

Cierto valor del contenido de humedad al interior de los poros

La porosidad del hormigón, o sea su relación agua/cemento, en vista de que, cuanto mayores son, más humedad pueden alojar.

Su contenido de materia alcalina carbonatable: la presencia de óxidos de calcio, sodio y potasio, ya que estos son las materias susceptibles de carbonatarse, de ahí que los cementos Pórtland sin adiciones sean más resistentes a la carbonatación.

La primera causa, es regulada en cierto modo, por los diferentes códigos de fabricación de cada país, siendo los valores de referencia considerablemente variables, en función de las distintas propiedades de los cementos, de los distintos tipos de acero utilizado, así como por las diferentes cualidades de los restantes materiales que intervienen.

La porosidad y homogeneidad, son factores fundamentales al momento de evitar la contaminación del compuesto por la acción del medio que lo rodea: el grado de aceptabilidad estará determinado por la dosificación de las mezclas, incluyendo la relación agua/cemento y la decisión de incorporar "agentes" adicionales a la masa "pura", con el fin de evitar el ingreso de los componentes exteriores no deseados.

A esto se suma un aspecto proyectual, donde surge que, la agresión medioambiental es determinante al momento de definir si es una buena elección, implantar construcciones con estructura de hormigón visto. En ese es absolutamente necesario observar todos los ítems antes mencionados, de otra forma aseguramos patologías a corto plazo. Es decir, se usar un hormigón con una dosificación adecuada, un recubrimiento apropiado a efectos de prolongar la vida útil de la estructura, alejando y protegiendo a las armaduras. Estas condiciones establecerán la vida útil de esa estructura. En función de ello se deberá pensar en los mantenimientos preventivos permanentes.

EVALUACION DE DIFERENTES FORMAS DE EVITAR EL FENOMENO DE CARBONATACION

Según se establece en el artículo "*Anatomía, Fisiología y Patología del Hormigón con y sin adiciones*" del Ing. Q. Rafael Talero del Instituto E. Torroja de Madrid, "*El fundamento de la nocividad de la carbonatación se basa en que el CO₂, del aire, junto o no con la humedad ambiental, penetra por los poros, fisuraciones, no adhesiones pasta-árido en su caso, de dicho hormigón – por retracción hidráulica, por haber utilizado una relación a/c elevada a pesar de que la trabajabilidad haya sido la adecuada, por choque térmico, etc., carbonatando el hidróxido de calcio o portlandita liberada en la hidratación de la fracción clinker Pórtland correspondiente según la reacción siguiente: Ca (OH)₂ + CO₂ = CaCO₃ + H₂O*"....."*Y la TERAPIA para que en dichos HCPA se minimicen lo más posible los efectos nocivos, a medio o largo plazo, derivados de su posible carbonatación ulterior, sería y es, someterlos en todos los casos y circunstancias medioambientales y cuanto más humedad como más razón a un cuidadoso y esmerado proceso de curado hídrico tras su desencofrado y ...si fuera posible hasta su entrada en servicio*".

Lo que es absolutamente recomendable a nuestro criterio, coincidiendo también con otras medidas recomendadas por el mismo Talero, como proteger las caras vistas de los hormigones con pinturas basadas en cal, a ser renovada anualmente.

CONCLUSIONES

Tomando como punto de partida, que la corrosión de las armaduras debe representar una de las mayores preocupaciones por quienes estudian, proyectan y dirigen la ejecución de las estructuras de hormigón armado, es evidente que, la toma de decisiones relativas a la dosificación y elaboración de las mezclas y al proceso de elaboración y curado del material, debe buscar los máximos cuidados para asegurar la vida útil requerida.

Interrogante: si bien los cementos puros por ser más alcalinos que los puzolánicos, protegen al hormigón y mantienen a la armadura en estado pasivado, los puzolánicos al generar hormigones más compactos reducen la permeabilidad del mismo e impiden que el ph de la masa baje, evitando la rotura de la capa de pasivación.

De lo expuesto nos surgen las siguientes interrogantes:

- 1- ¿Cuál es la decisión más acertada al momento de definir la dosificación, en vista de las situaciones expuestas?
- 2- ¿Cuáles son las diferencias entre los tiempos que llevan a la corrosión por uno u otro medio? ¿Es posible generalizar situaciones, o dependerá cada situación atmosférica particular no admite establecer valores de referencia?
- 3- ¿Qué es más difícil de controlar en el proceso de elaboración del material: la dosificación, el curado, la protección de las piezas a posteriori del desencofrado?
- 4-¿Porque han durado mas y sin mantenimiento las estructuras de los años 30 a los 70 y vemos- como es caso del ejemplo- edificios de 30 o 40 años de antigüedad que no duran y presentan grandes patologías tempranas?

Se debe estudiar, analizar y aprender de los hormigones de esa época, en calidad recubrimientos, dosificaciones y cuidado en la mano de obra. La posible respuesta es que décadas anteriores a los años 70, se utilizaron hormigones de resistencia adecuada a las exigencias, porque se cuidó la calidad de los materiales a usar, porque se cuidaron adecuadamente los procedimientos, es decir, los recubrimientos, los encofrados, el llenado, se respetaron los tiempos de fraguado y se diseñaron las estructuras sin exigencias irracionales.

Es decir que por sobre los planteos teóricos de especialistas en el comportamiento químico-físico del material nuestra opinión es que los técnicos que manejamos este maravilloso material debemos volver a respetarlo como hace unos años atrás sin exigirle lo no exigible ya que lo único que hacemos es comprometer el producto de nuestra construcción, es decir la vida útil de nuestro edificio.

Este es a nuestro entender otra de los puntos positivos de estudiar y respetar nuestro patrimonio construido reciente con estructuras de hormigón armado. El que obviamente presenta diferencias según los medios donde este construido, si se usaron hormigones en base a puzolanas o a calizas, o si se diseño con mayores o menores recubrimientos o si el medio ambiente es mas o menos agresivo. Por lo cual es importante discutir y confrontar experiencias realizadas en la región.

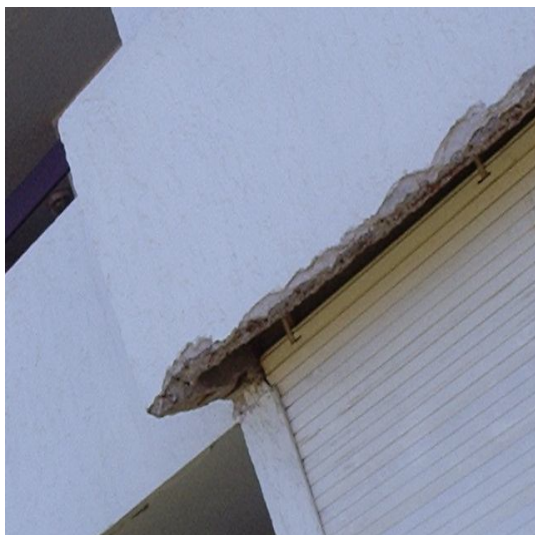
Fotografías



Fotografía 1. Vista general del edificio



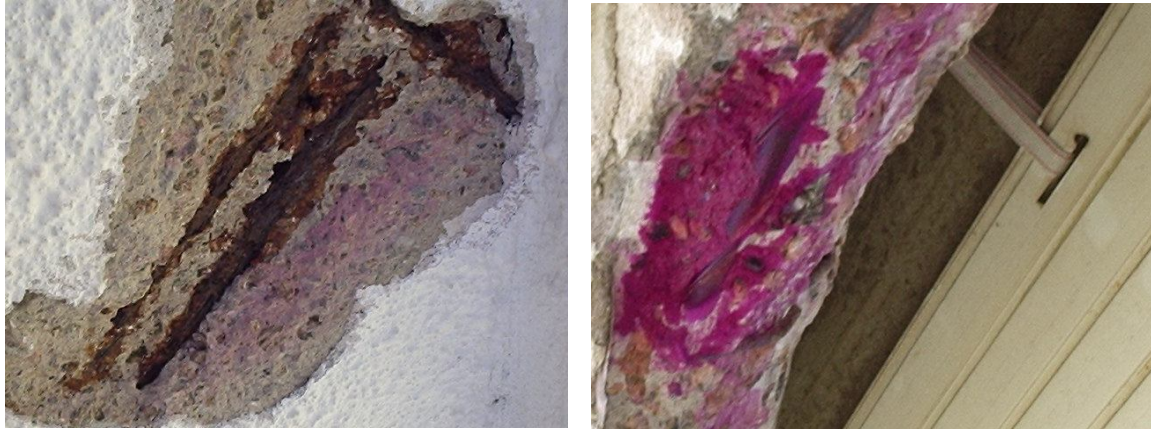
Fotografía 2. Dinteles con pérdida de hormigón



Fotografía 3 y 4. Cajones de cortina con pérdida de hormigón



Fotografía 5 y 6 – Estado de las armaduras y sector picado en profundidad



Fotografía 7 y 8. Cateos con indicador mas o menos comprometidos



Fotografía 9 y 10. Elementos reparados

AGRADECIMIENTOS

Al Arqto. J. Garcia Mantegazza.

REFERENCIAS

- [1] TALERO R. "ANATOMÍA, FISIOLOGÍA Y PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN ARMADO Y EN MASA". Anales del Intituto E. Torroja- Madrid - 2000
- [2] HELENE P. y PEREIRA. F. "MANUAL DE REHABILITACION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN". *Rehabilitar/ ISBN 85-903707*