

SOLUCIÓN A LAS PATOLOGÍAS POR CARBONATACIÓN EN LOS BLOQUES HABITACIONALES DEL “HOTEL COLONIAL CAYO COCO”

SOLUTION TO PATHOLOGIES DUE TO CARBONATION IN THE HOUSING BLOCKS OF THE "COLONIAL CAYO COCO HOTEL"

Autores: Alejandro Miguel Iraola Pérez¹

<https://orcid.org/0000-0002-4464-0531>

Antonio Daquinta de la Cruz²

<https://orcid.org/0000-0002-3907-2621>

Laura Rodríguez Loyola²

<https://orcid.org/0000-0001-8033-2192>

Institución: ¹Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A., Ciego de Ávila, Cuba

²Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: aira.noone@gmail.com

adaquinta@unica.cu

laurarl@unica.cu

RESUMEN

Dentro del marco de investigación está presente la medición de la profundidad de carbonatación, para conocer si esta supera la medida de recubrimiento, empleando la fenolftaleína como indicador ácido-base, el cual fue rociado sobre superficies descubiertas durante los procesos semi destructivos realizados sobre los elementos. Como el hormigón no ofrece protección para el acero al estar en valores de potencial de hidrógeno (pH) inferiores a 9.00, dependiendo de los resultados ofrecidos en un rango de viraje superior e inferior, fue necesario ensayos para tener una mayor exactitud con respecto al riesgo de corrosión y obtener el porcentaje de los que realmente estuviesen carbonatados. El (pH) fue medido con el equipo ExStik Concrete pH Kit modelo PH150-C y las áreas evaluadas fueron distribuidas en todos los objetos estudiados. Con los resultados obtenidos se propuso las acciones de intervención correspondientes a las lesiones, dependiendo de la gravedad de las mismas, y de esta manera dar solución a las patologías por carbonatación existentes.

Palabras clave: Carbonatación en el hormigón, Corrosión, Fenolftaleína, Patología constructiva.

ABSTRACT

Within the research framework, the measurement of the carbonation depth is present, to know if it exceeds the measurement of coating, using phenolphthalein as an acid-base indicator, which was sprayed on uncovered surfaces during the semi-destructive processes carried out on the elements. As the concrete does not offer protection for the steel when being in values of potential hydrogen (pH) lower than 9.00, depending on the results offered in a range of upper and lower turn, it was necessary tests to have a greater accuracy with respect to the risk of corrosion and obtain the percentage of those that were really carbonated. The (pH) was measured with the ExStik Concrete pH Kit model PH150-C and the evaluated areas were distributed in all the objects studied. With the results obtained, the intervention actions corresponding to the lesions were proposed, depending on their severity, and in this way provide a solution to the existing carbonation pathologies.

Keywords: Carbonation in concrete, Construction pathology, Corrosion, Phenolphthalein.

INTRODUCCIÓN

La utilización del hormigón armado en Cuba, como en el mundo, es la principal estrategia de construcción, por poseer en su composición heterogénea de áridos, cemento, agua y aditivos un material altamente duradero. También la implementación del acero realza la resistencia en aquellos aspectos en los que la mezcla no es tan fuerte, como por ejemplo el confinamiento y los esfuerzos a tracción. Por otra parte, la protección que se le confiere a la armadura contra los agentes de la intemperie no se queda detrás, evitando la oxidación y corrosión del metal.

El hormigón es el elemento que envuelve a la estructura, por lo tanto, está en contacto con el exterior, siendo el primero en sufrir los ataques externos. (Jiménez Rey, 2020)

La carbonatación es la causante más habitual del proceso de deterioro del concreto, situándose en un lugar de gran importancia con respecto a la periodicidad de inspección para prevenirla, o dada la situación, repararla. (Iloro, 2022, p. 12)

La infraestructura del Hotel Colonial Cayo Coco se encuentra sometida por muchos años de explotación bajo condiciones de preservación insuficientes, evidencia es la presencia de patologías demandantes de mayor envergadura en la intervención para su restauración. Las lesiones ubicadas en la estructura de los bloques habitacionales ponen el estudio en dirección hacia la degradación del hormigón, en cuanto a carbonatación se refiere. La demanda de solución a las roturas nos lleva a la

problemática de cómo resolver las patologías por carbonatación existentes en los bloques habitacionales del Hotel Colonial Cayo Coco, basado en ensayos semi destructivos y propuesta de reparación.

DESARROLLO

Proceso de carbonatación

El dióxido de carbono (CO_2) gaseoso presente en el aire, ingresa por difusión a la masa del hormigón a través de los poros interconectados con el exterior, transformando al hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y al silicato cálcico hidratado (C-S-H), principalmente, en carbonato de calcio (CaCO_3), que se puede esquematizar en la Figura 1. La reacción puede sintetizarse según la segunda Ley de Fick, donde la penetración es proporcional al gradiente de concentraciones entre dos medios; cuanto mayor es la concentración en un medio y menor la cantidad de sustancia reactiva en el otro, mayor será el transporte. (Iloro, 2022, p. 14)

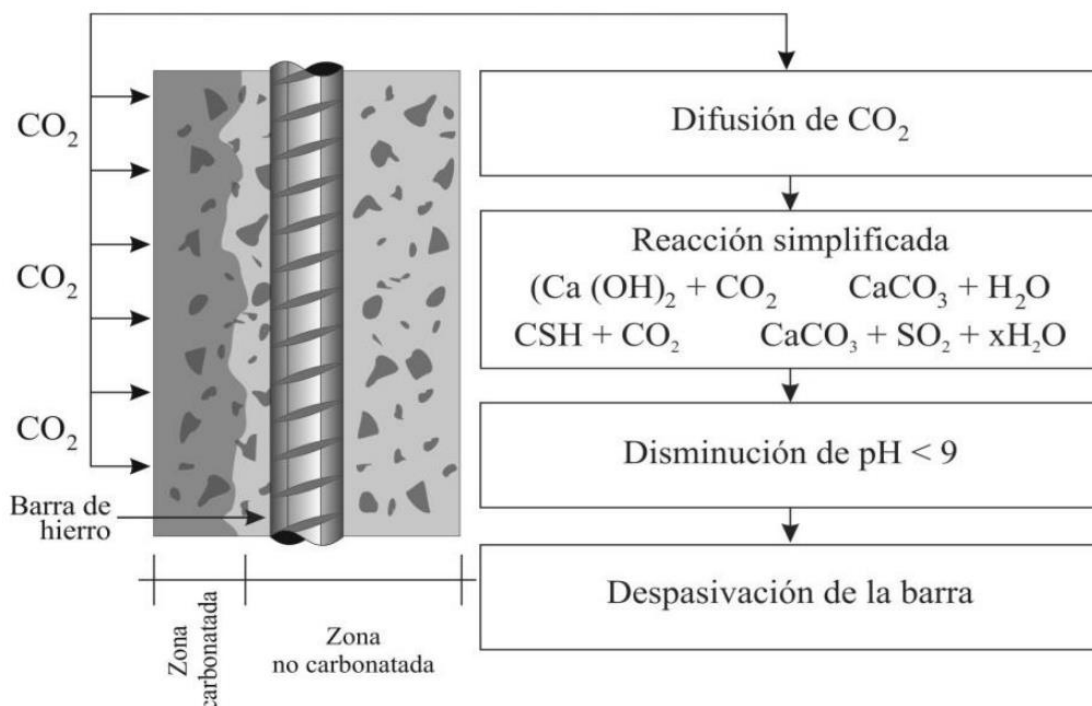


Figura 1. Esquema del proceso de carbonatación (Iloro, 2022, p. 14)

Aunque en ambientes marinos y costeros la carbonatación es una causa de la corrosión menos importante que los cloruros, no es menos seria en términos del daño que provoca y del dinero que cuesta remediar sus efectos (Moreno Briones, 2010, p. 24). La alta alcalinidad del hormigón ($\text{pH} \sim 13,0$), mantiene la capa pasiva existente en la superficie de las barras. El ingreso y reacción del dióxido de carbono (CO_2)

atmosférico, hace disminuir el pH hasta alcanzar valores por debajo de 9, rompiendo la capa pasiva pudiéndose desarrollar el proceso de corrosión (Iloro, 2022, p. 12)

La temperatura es un aspecto de gran incidencia en el proceso de carbonatación y corrosión, ya que este tiende a estimular los ataques al elemento por el aumento de la velocidad de las reacciones electroquímicas y de procesos de difusión en los materiales. Para un nivel de humedad relativamente constante, un aumento de temperatura llevaría a una mayor tasa de corrosión. (Moreno Briones, 2010, p. 18).

Etapas de la carbonatación

Primera etapa - En esta fase empieza el proceso natural de la carbonatación del hormigón (de color verde), mientras que el hormigón que rodea el acero continúa siendo alcalino, manteniendo su $\text{PH} > 12,5$ y permitiendo que el acero se encuentre protegido (Jiménez Rey, 2020). Ver Figura 2



Figura 2. Primera etapa (Jiménez Rey, 2020)

Segunda etapa - En este punto la carbonatación del hormigón continúa avanzando a través de las fisuras, o porosidades disminuyendo la sección del hormigón sano hasta llegar a contactar con la armadura dejándola desprotegida (Jiménez Rey, 2020). Ver Figura 3

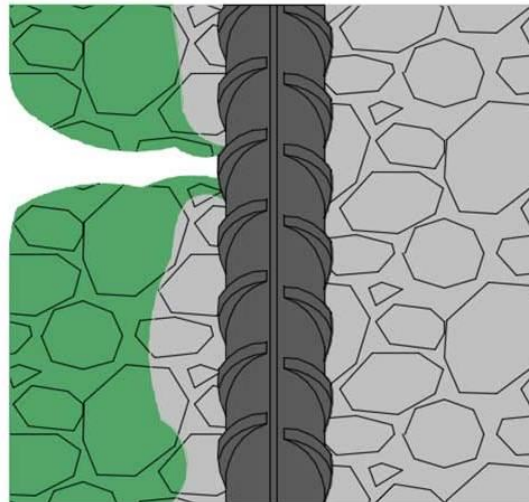


Figura 3. Segunda etapa (Jiménez Rey, 2020)

Tercera etapa - Comienza el proceso de oxidación haciendo que la armadura empiece a dilatar, logrando que rompa el hormigón (fisure o agriete). Ver Figura 4

Cuando la Detección Carbonatación del Hormigón se produce en esta última fase estaremos ante el caso de mayor complejidad y presupuesto en cuanto a su reparación (Jiménez Rey, 2020)

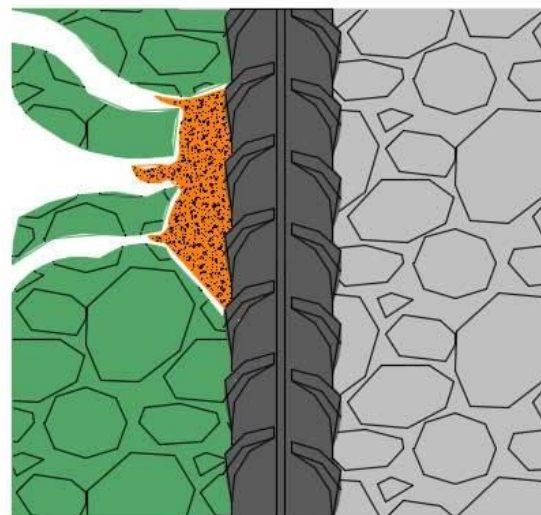


Figura 4. Tercera etapa (Jiménez Rey, 2020)

Test de fenolftaleína

La fenolftaleína es un indicador de pH muy conocido que se utiliza sobre todo para valoraciones ácido-base en química analítica, aunque también puede usarse para medir el pH de una disolución, pero de forma cualitativa. La fenolftaleína cambia su estructura molecular y su color cuando el $\text{pH} \sim 9$. En concreto, la fenolftaleína es

incolores cuando $\text{pH} < 8$ y adquiere un color rojo violáceo cuando $\text{pH} > 9$. En la Figura 5 se muestra la forma ácida y básica de la fenolftaleína. (Heredia Avalos, 2006, p. 95)

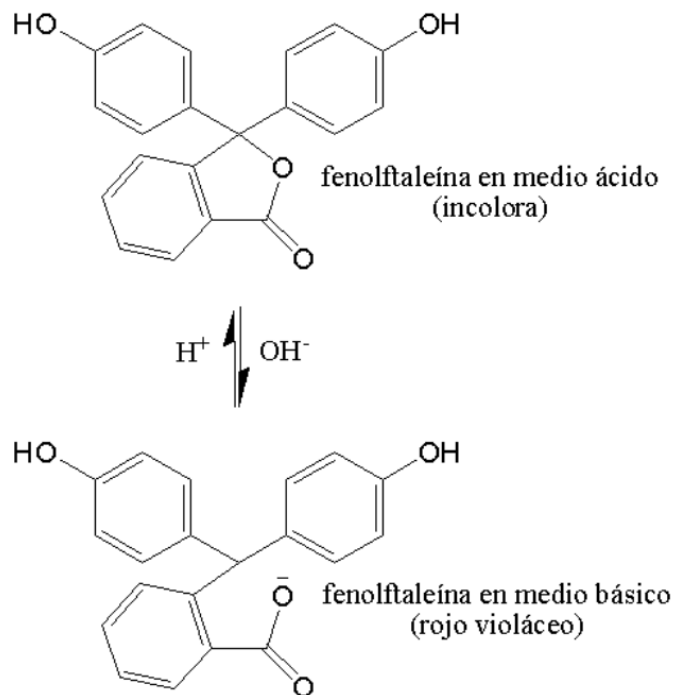


Figura 5. Forma ácida y básica de la fenolftaleína

Este test consiste en rociar el elemento en cuestión con dicho compuesto. Si el pH del elemento objeto de ensayo es superior a 9, la zona rociada toma un color rosado, mientras que si es menor se queda igual que estaba. Zona coloreada hormigón sano. Este procedimiento es una forma de detectar la carbonatación del hormigón.

Valores del potencial de hidrógeno (pH)

Para medir los valores del potencial de hidrógeno (pH) fue utilizado en esta investigación el equipo ExStikConcrete pH Kit modelo PH150-C. Las áreas a evaluar fueron distribuidas en todos los objetos estudiados, según el criterio del investigador para alcanzar los objetivos propuestos en este estudio.

Para plantear el estado del hormigón se encuentra presente el método de los “Integrantes de la Red Iberoamericana XV.B. (DURAR, 1997)”. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Método para la evaluación del estado de carbonatación del hormigón. (“DURAR”, 1997)

Carbonatación del Hormigón	
$\text{pH} < 8.2$	Carbonatado
$8.2 > \text{pH} < 9.8$	Con alto riesgo de carbonatarse
$\text{pH} > 9.8$	No carbonatado

Objeto de estudio

El "Hotel Colonial Cayo Coco" está ubicado en la costa norte de Cuba y como su nombre indica se encuentra en Cayo Coco municipio Morón, provincia Ciego de Ávila. Ave. de los Hoteles s/n, Cayo Coco, Morón 69400.

Estructuralmente los edificios están conformados a partir de una cimentación en balsa sobre relleno técnico y sobre la que apoyan a su vez los muros de carga. Las columnas se encuentran sobre cimientos aislados que descansan sobre el mismo relleno técnico. Los muros son de bloques de 0.15m, 0.20m y 0.25m con columnas embebidas en ellos. Los entrepisos y cubiertas están conformados por losas de hormigón con peralte 0.20m horizontales e inclinadas respectivamente, estas últimas a dos aguas fundidas in situ integrales junto con las vigas, además existen zonas con losas de viguetas y bovedillas de 0.16m.

La demanda de investigación está presente en los bloques habitacionales 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 30, 31 y 33 del Hotel Colonial ubicado en Cayo Coco (Figura 6).



Figura 6. Vista aérea Hotel Colonial Cayo Coco. Bloques habitacionales encauzados en el estudio.

Test químico y medición de valores de pH en elementos

Los resultados del test de fenolftaleína muestran que el frente de carbonatación penetró los elementos de hormigón alcanzando hasta 4.00 cm aproximadamente y por consiguiente a los aceros de refuerzo.

Para mayor exactitud con respecto al riesgo de corrosión es aconsejable analizar los ensayos de pH, en dichos resultados coincide con lo expuesto anteriormente, pues el hormigón presenta altos por cientos de carbonatación. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Ensayos realizados a diferentes elementos de los bloques habitacionales. Selección a criterio del investigador.

No. Ensayos	Elementos	pH	Temperatura	Tipo de Riesgo
0	B-14: Columna	6,89	23,4	HGON CARBONATADO
1	B-15: Viga	7,94	24,1	HGON CARBONATADO
2	B-15: Columna	8,14	24	HGON CARBONATADO
3	B-16: Losa	7,94	25,3	HGON CARBONATADO
4	B-16: Viga	7,18	24,4	HGON CARBONATADO
5	B-16: Columna	7,98	24,3	HGON CARBONATADO
6	B-16: Pérgola	8,14	23,6	HGON CARBONATADO
7	B-17: Viga	7,89	25,4	HGON CARBONATADO
8	B-17: Losa	8,10	26,7	HGON CARBONATADO
9	B-18: Viga	6,82	31,7	HGON CARBONATADO
10	B-18: Viga	7,98	31,4	HGON CARBONATADO
11	B-18: Viga	8,01	29,6	HGON CARBONATADO
12	B-18: Viga	7,68	32	HGON CARBONATADO
13	B-18: Losa	6,58	30,5	HGON CARBONATADO
14	B-18: Columna	8,17	33,2	HGON CARBONATADO
15	B-18: Viga	9,85	33,4	HGON NO CARBONATADO
16	B-18: Losa	10,24	33,9	HGON NO CARBONATADO
17	B-18: Losa	10,08	34,1	HGON NO CARBONATADO
18	B-21: Pedestal	6,98	24,5	HGON CARBONATADO
19	B-21: Viga	7,66	23,8	HGON CARBONATADO
20	B-30: Viga	6,54	26,4	HGON CARBONATADO
21	B-30: Viga	10,40	26,9	HGON NO CARBONATADO
22	B-30: Losa	9,91	25,7	HGON NO CARBONATADO
23	B-30: Columna	9,84	32,1	HGON NO CARBONATADO
24	B-31: Viga	8,14	27,8	HGON CARBONATADO
25	B-31: Losa	7,62	24,7	HGON CARBONATADO
26	B-31: Columna	6,94	25,5	HGON CARBONATADO
27	B-33: Viga	7,36	28,9	HGON CARBONATADO
28	B-33: Columna	4,30	30,2	HGON CARBONATADO
29	B-33: Viga	6,23	29,2	HGON CARBONATADO

El hormigón se encuentra en el 80 % de las lesiones investigadas dentro de la etapa 3 del proceso de carbonatación, incluyendo corrosión en el acero. En el 20 % se encuentra en etapa 1 manifestando manchas en pintura y desprendimientos de terminaciones a causa de la humedad. Los resultados no arrojaron datos sobre elementos en etapa 2 con alto riesgo de carbonatación. Ver Gráfico 1.

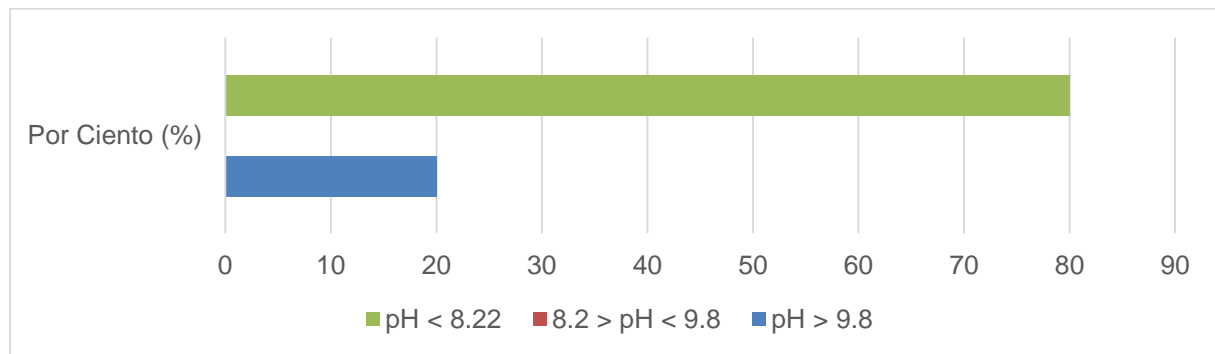


Gráfico 1. Porcentaje de valores de pH

Dado el alto porcentaje de un mismo estado crítico es posible considerar un solo modo de intervención para todos los elementos, dependiendo solo del nivel de afectación para comenzar en uno o en otro paso del procedimiento a seguir para la reparación.

Intervención a elementos dañados

La reparación del hormigón deteriorado se realizará mediante métodos tradicionales, eliminándolo parcial o totalmente, dependiendo del alcance del daño. Esta técnica se conoce como “reparación por parcheo”. Con ella se pretende reconstituir las propiedades físicas y estéticas de la estructura de hormigón. El procedimiento a seguir es:

- Preparación previa de la estructura: apuntalamiento provisional si la capacidad resistente no es la suficiente.
- Eliminación del hormigón dañado hasta unos 2,5 cm por detrás de la armadura, para poder limpiarlas fácilmente. (Sánchez de Rojas Noguera, 2004, p. 31)
- Picado y limpieza del óxido en el acero mediante hidro-demolición. Si se produce, en caso de las barras longitudinales al alero, una pérdida de sección de las armaduras de alrededor del 15-25 %, éstas se sustituyen por otras en buen estado.
- Colocación del material de reparación. Se suele colocar algún tipo de resina asegurando la perfecta adherencia. (Sánchez de Rojas Noguera, 2004, p. 32)
- Aplicación de revestimientos para conseguir una capa protectora, continua y uniforme de espesor relevante (de 0,1 a hasta 5 mm) dispuesta sobre la superficie de hormigón, creando una barrera física impermeable al agua y otros agresivos químicos.

CONCLUSIONES

El hormigón carbonatado resultó estar presente en el 80 % de las lesiones investigadas, incluyendo corrosión en el acero manifestándose en la etapa 3 del

proceso, el otro 20 % en la etapa 1 mostrando manchas en pintura y desprendimientos de terminaciones a causa de la humedad. Dentro de las muestras no se obtuvo resultado sobre alto riesgo para considerar una intervención planificada a corto plazo. El test de fenolftaleína contribuyó al criterio para una mejor ubicación de las muestras a medir con el equipo especializado, facilitando así una propuesta de solución de reparación generalizada con la diferencia entre elementos solo en la etapa de intervención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

“DURAR”, Integrantes de la Red Iberoamericana XV.B. (1997). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. Rio de Janeiro, Brasil: Comité editorial, ISBN 980-296-541-3.

HEREDIA AVALOS, Santiago. (2006). Experiencias sorprendentes de química con indicadores de pH caseros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. Vol. 3, No. 1. pp. 95-96. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/920/92030108.pdf>. Visitado: el 21 de diciembre de 2022).

ILORO, Fabián Horacio. (2022). Efectos del co2 ambiental sobre la carbonatación de hormigones elaborados con distintos cementos. Bahía Blanca, Argentina. 261 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.

JIMÉNEZ REY, Agustín. (2020). Arquitectura e Ingeniería. Carbonatación en Estructuras de Hormigón Armado. *Revista electrónica Esarco* [en línea]. España. Disponible en: <https://esarco.es/carbonatacion-del-hormigon/>. Visitado: el 21 de diciembre de 2022.

MORENO BRIONES, Stalyn Humberto. (2010). Determinación de la profundidad de carbonatación y penetración de cloruros mediante experimentación empleando procesos de difusión térmica en varios diseños de hormigón. Guayaquil, Ecuador. 108 h. Tesis en opción del título de Ingeniero Mecánico. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

SÁNCHEZ DE ROJAS NOGUERA, María José. (2004). Extracción electroquímica de cloruros del hormigón armado: estudio de diferentes variables que influyen en la eficiencia del tratamiento. Alicante, España. 285 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería. Universidad de Alicante.