

# Películas barrera: Una opción contra la carbonatación del concreto reforzado

Serrano Ixtepan D.<sup>1</sup>, Moreno Eric I.<sup>2</sup>

*Recibido: 26 de enero de 2006 – Aceptado: 29 de junio de 2006*

## RESUMEN

La corrosión del acero de refuerzo es el mayor factor en la reducción de la vida de servicio de las estructuras y elementos de concreto reforzado. En ambientes tropicales no marinos, la carbonatación del concreto induce posteriormente la corrosión del acero de refuerzo siendo el principal mecanismo de corrosión en concreto reforzado. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de las principales clases de pinturas existentes en el mercado (alquidámica, acrílica, vinil-acrílica y vinílica), como controladoras de la velocidad de carbonatación en concretos elaborados con agregados calizos mediante el uso de pruebas en ambientes acelerados. Tres relaciones agua - cemento (0.80, 0.70 y 0.62) fueron usadas. Para controlar el progreso de la carbonatación se elaboraron cilindros de concreto simple de 7.5 x 7.5 cm de diámetro. Los resultados mostraron un mejor desempeño del recubrimiento alquidámico, sin embargo no se recomienda su uso por su débil adherencia al concreto y por la alta alcalinidad del concreto. El recubrimiento acrílico en el mejor de los casos redujo la velocidad de carbonatación en un 87% (para la mezcla de 0.62), lo que lo hace una buena opción contra la carbonatación.

**Palabras Claves:** Concreto, Carbonatación, Películas barrera, Pintura acrílica, Pintura vinílica, Pintura alquidámica.

---

## Surface coatings: An option against carbonation of reinforced concrete

### ABSTRACT

Corrosion of reinforced concrete is the key factor in service life reduction of reinforced concrete structures and elements. In non marine tropical environments, carbonation of concrete induces afterward corrosion of the reinforcing steel, being the main corrosion mechanism in reinforced concrete. The aim of this investigation was to evaluate the efficiency of the commercially available types of paint (alkyd, acrylic, vinyl-acrylic and vinyl), as controls of the carbonation rate in concrete made with limestone aggregate by means of accelerated tests. Three water cement-ratios of 0.80, 0.70 and 0.62 were employed. Plain concrete cylinders, 7.5 by 7.5 cm, were cast to monitor the carbonation progress. Results show the best performance for the alkyd coatings, however, its use is not recommended due to its weak concrete adherence and the concrete high alkalinity. The acrylic coating reduced the carbonation rate in 87% for its best case (0.62 mixture), therefore, becoming a good option against carbonation.

**Keywords:** Acrylic paint, Alkyd paint, Carbonation, Concrete, Surface coatings, Vinyl paint.

---

<sup>1</sup> Estudiante del Programa de Maestría en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UADY

<sup>2</sup> Profesor-Investigador del C. A. de Estructuras y Materiales, FIUADY, emoreno@tunku.uady.mx

**INTRODUCCIÓN**

El concreto reforzado es el material de construcción más utilizado en la mayor parte del mundo, su versatilidad, economía y alcance lo hacen un material único en su clase. Sin embargo el concreto reforzado se deteriora al interactuar con el medio ambiente, siendo la corrosión del acero de refuerzo el mayor factor en la reducción de la vida de servicio de las estructuras y elementos de concreto reforzado. En ambientes tropicales no marinos, la carbonatación del concreto induce, bajo condiciones adecuadas de humedad y temperatura, la corrosión del acero de refuerzo siendo el principal mecanismo de corrosión en concreto reforzado.

La carbonatación disminuye el pH del concreto debido a la acción del dióxido de carbono de >12.5 unidades a valores entre 8 y 9 unidades (Moreno 1999). Una vez que el pH ha disminuido, la barra de refuerzo pierde sus propiedades pasivas, empezando el proceso de corrosión del acero y, posteriormente, el agrietamiento del concreto, dando fin al período de vida útil de la estructura (Moreno 2000).

Se ha probado con éxito barras de acero galvanizado como alternativa contra la corrosión inducida por la carbonatación del concreto en ambientes tropicales no marinos (Moreno et al. 2005); sin embargo, no deja de ser una alternativa inicial costosa y por consiguiente no muy atractiva a pesar de las ventajas que brinda, además de que su mejor desempeño ocurre en edificaciones nuevas.

Otra opción para esta problemática es el uso de películas barrera o sistemas de protección superficial (revestimientos por pintura y productos similares, Rodríguez 2005). El mecanismo básico de protección de estos elementos consiste en la formación de una película semiflexible y continua, que actúa como barrera física de baja permeabilidad a gases como el dióxido de carbono, al agua, al vapor de agua y cualquier otro agente agresivo al concreto reforzado (Trocónis de Rincón et al. 2003).

Se ha probado con cierto éxito las películas barrera en el concreto. Las de mejor desempeño han sido las que contienen acrílicos, epóxicos y poliuretanos (Andrade et al. 1989; Keer 1992). Es conveniente mencionar que estas películas deben ser aplicadas a estructuras de concreto nuevas preferentemente, debiéndose usar en estructuras reparadas sólo cuando se haya garantizado la remoción del concreto carbonatado. De otra forma, el efecto puede ser contraproducente.

Cabe aclarar que, debido a la gran variabilidad de estos productos, los resultados de las investigaciones

mencionadas no son aplicables directamente en nuestro medio. Adicionalmente, tanto las pinturas epóxicas como las de poliuretanos no son accesibles por su alto costo. Por lo tanto, es deseable tener información del efecto barrera que podrían aportar las pinturas de fácil acceso (bajo costo) como son las alquidácicas, las acrílicas y las vinílicas.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de las principales clases de pinturas existentes en el mercado, como controladoras de la velocidad de carbonatación en concretos elaborados con agregados calizos mediante el uso de pruebas en ambientes acelerados para distintas relaciones a/c.

**METODOLOGÍA**

**Especímenes y materiales**

Se elaboraron especímenes de concreto simple de 7.5 cm de longitud x 7.5 cm de diámetro para seguir el progreso de la carbonatación. Tres relaciones agua – cemento (a/c) fueron usadas (0.80, 0.70 y 0.62), equivalentes a resistencias f'c de 15, 20 y 25 MPa. Ocho cilindros fueron usados por cada a/c y tipo de pintura a estudiar, ocho se usaron como control dentro de la cámara y cuatro cilindros más se usaron para control externo.

El material cementante que se usó fue Cemento Pórtland Compuesto. Caliza triturada fue usada como agregado grueso y fino (Ver Tabla 1). Las mezclas diseñadas fueron preparadas de acuerdo a las especificaciones del ACI y para los colados de los especímenes se siguieron los procesos estándares del ASTM.

**Tabla 1. Propiedades de los materiales utilizados**

<b>Material</b>	<b>Propiedades</b>
<b>Cemento</b> <i>Tipo</i> <i>Gravedad Específica</i>	CPC 30 R 3.15
<b>Grava</b> <i>Banco</i> <i>Tamaño máximo</i> <i>Peso Específico</i> <i>Peso Unitario Seco</i> <i>Peso U. Compacto</i> <i>Absorción</i>	San Enrique 3/4" 2.34 1098 kg/m <sup>3</sup> 1219 kg/m <sup>3</sup> 6.7
<b>Arena</b> <i>Banco</i> <i>Peso Específico</i> <i>Módulo de Finura</i> <i>Absorción</i>	San Enrique 2.25 2.76 4.7

Se estudiaron dos marcas de pinturas, por lo que se realizaron dos colados, a/c de 0.80, 0.70 y 0.62 en el primero (primer grupo) y sólo a/c de 0.80 y 0.62 en el segundo (segundo grupo).

El período de curado para los especímenes fue de 28 días por inmersión en una pileta de agua. Al término de este tiempo empezó el período de acondicionamiento que fue el período en el cual, los diferentes tipos de mezcla, perdieron masa debido al secado del concreto, realizándose para ello lecturas de los pesos de los cilindros de concreto simple de 7.5 cm. Los períodos de acondicionamiento fueron de 104 y 75 días después de desmoldados los cilindros para el primer y segundo grupo, respectivamente. Los especímenes se colocaron posteriormente en una cámara al 4% de CO<sub>2</sub> con el fin de acelerar la carbonatación (Moreno et al. 2004).

### Selección de pinturas y aplicación

Se estudiaron dos marcas de pinturas diferentes existentes en el mercado, A y B. Para el caso A, se estudiaron las dos calidades principales que maneja la marca, Esmalte Alquidálico y 100% Acrílica; la primera base solvente (alquidálica) y la segunda base agua (100% acrílica). Para el caso B, se decidió estudiar tres calidades de pinturas económicas, a saber, Vinil-Acrílica, Vinílica y Alquidálica. Para la aplicación de la pintura se siguieron las recomendaciones del fabricante; la superficie se dejó libre de cualquier contaminante y se aplicó la pintura a dos manos en la superficie de cada cilindro.

Para evitar que la carbonatación llegara primero por las tapas, se le aplicó a éstas, dos manos (capas) de epóxico. En todos los casos no se rebajó la pintura con su respectivo diluyente, ya que se quiso estudiar el comportamiento de la pintura (material), en condiciones similares a todas ellas.

### Medidas de las profundidades de carbonatación

Se calculó la cantidad de dióxido de carbono que en promedio consume la totalidad de cemento dentro de la cámara de carbonatación por semana, para que se mantuviera constante el 4% de CO<sub>2</sub> circundante en el medio ambiente de la cámara, y de esta forma se acelerara el proceso de carbonatación (Moreno et al. 2004).

El avance de la carbonatación se determinó mediante la aplicación de una solución alcohólica de fenolftaleína al 1%, la cual se roció sobre una superficie de concreto que ha sido expuesta recientemente. No se recomienda hacer cortes con sierra o barrenaciones, debido a la posible

contaminación de material no carbonatado sobre las zonas carbonatadas.

La determinación de las profundidades de carbonatación se realizó de la siguiente manera: Dos especímenes de concreto por mezcla diseñada fueron removidos de la cámara a diferentes tiempos. Posteriormente se partieron los cilindros por la mitad utilizando cincel y martillo, seguidamente se roció fenolftaleína al 1% sobre la superficie recién cortada y las lecturas de las profundidades de carbonatación se realizaron con la ayuda de un vernier digital.

El criterio para la determinación de la carbonatación fue el siguiente (RILEM 1988):

I. Cuando el frente de carbonatación avanza como una línea paralela a la superficie, la profundidad de carbonatación  $d_k$  es determinada como se muestra en la Figura 1a.

II. Cuando el frente de carbonatación avanza como se muestra en la Figura 1b, se tomará la profundidad de la gráfica promedio  $d_k$  y la máxima profundidad  $d_{k_{max}}$  es registrada.

III. Si el frente de carbonatación avanza paralelo a la superficie con áreas carbonatadas, aisladas y profundas, como se muestra en la Figura 1c, entonces la máxima profundidad  $d_{k_{max}}$  de la carbonatación debe ser dada así como la profundidad normal  $d_k$ . En este caso, ningún promedio es calculado.

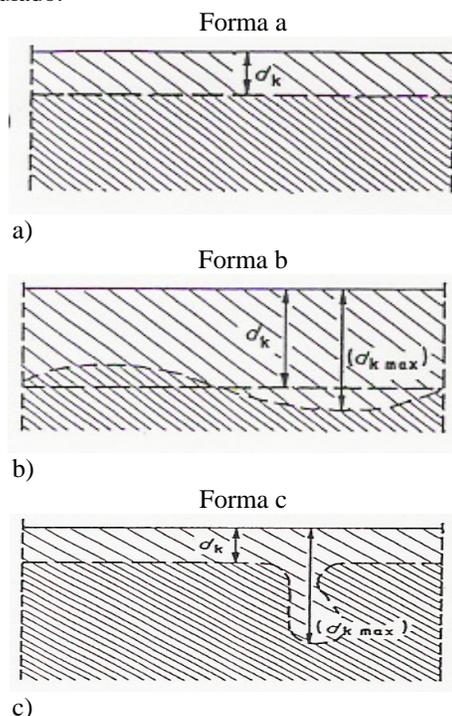


Figura 1. Definición de la profundidad de carbonatación (RILEM 1988)

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Análisis de la profundidad de carbonatación.**

Los promedios de las profundidades de carbonatación acelerada para los dos grupos son mostrados en las Tablas 2 y 3. Para cada corte se tomaron 8 lecturas de cada uno de los dos especímenes de concreto simple en cuestión, tomando la cara más apta para realizar la lectura, pues los cortes fueron irregulares.

Cada lectura fue corregida de acuerdo al método descrito por Moreno (1999), de mediciones radiales en un cilindro a profundidades de carbonatación que hubieran resultado si el concreto hubiese sido expuesto al mismo ambiente pero teniendo una longitud plana infinita, es decir, corrigiendo el efecto que tiene la forma del cilindro en la penetración del CO<sub>2</sub>. Una vez corregidos los valores, se promediaron las 8 lecturas de un cilindro y el resultado se promedió con el del otro espécimen, obteniéndose así una lectura por corte realizado.

En todos los casos se realizó una primera lectura, para lo cual se usaron los especímenes de control externo. Dicha prueba se hizo al finalizar el período de acondicionamiento y un día antes de colocar los especímenes de prueba en el interior de la cámara, ya que al estar en el ambiente de laboratorio sufrieron una carbonatación inicial. Esto se hizo con el objeto de poder determinar el avance real del frente de

carbonatación en los especímenes durante el período de exposición acelerada.

Para el primer grupo de estudio, el corte de los especímenes de control externo se realizó a los 101 días después del colado (3 días antes de iniciar la carbonatación acelerada), en tanto que para el segundo grupo, el corte se realizó a los 74 días después del colado (un día antes del proceso acelerado). Esta diferencia en el período de acondicionamiento puede atribuirse a la variación de las condiciones climáticas imperantes en distintas épocas del año que provocaron un mayor tiempo de acondicionamiento para el primer grupo.

Para el caso del primer grupo, se realizaron 4 pruebas de profundidades de carbonatación por cada mezcla y tipo de pintura durante el proceso de carbonatación acelerada. Dichas pruebas fueron a los 5, 11, 17 y 23 días de colocados los especímenes en la cámara de carbonatación. Excepto para la mezcla de 0.62, ya que al ser una mejor mezcla que las otras, la última profundidad de carbonatación no fue determinada a los 23 días, sino hasta los 37 días.

**Tabla 2. Profundidades de carbonatación acelerada (primer grupo)**

Profundidad promedio de carbonatación (en mm)						
Fecha Prueba:	23-Abr-04	01-May-04	07-May-04	13-May-04	19-May-04	02-Jun-04
Tiempo (días)	-3	5	11	17	23	37
Probeta						
control						
0.80	3.7	16.5	16.9	23.3	25.4	
0.70	2.9	13.4	16.0	16.8	18.8	
0.62	2.6	10.2	12.5		17.5	18.6
A - acrílica						
0.80		4.9	6.5	7.0	7.6	
0.70		4.2	4.5	6.0	5.3	
0.62		3.6	3.3		2.9	3.5
A - alquidámica						
0.80		5.0	6.2	4.9	7.0	
0.70		3.0	3.9	4.0	4.1	
0.62		2.8	2.1		4.4	2.9

De la Tabla 2 se puede observar en el último corte realizado, que para la mezcla de 0.62 el uso de un recubrimiento acrílico redujo la profundidad de carbonatación en un 81%, en tanto que el recubrimiento alquidálico lo redujo un 84%. Para el caso de la mezcla de 0.70, la pintura acrílica redujo la profundidad de carbonatación en un 72% y la pintura alquidálica en un 78%. Para el caso de la mayor relación a/c (0.80), la profundidad de carbonatación se redujo en un 70% y 72% para el recubrimiento acrílico y alquidálico, respectivamente. En el caso de ambas pinturas, debido a que la prueba es en esencia destructiva (en cada período de prueba se destruyen dos especímenes) y a los valores tan pequeños de carbonatación medidos, ocasionalmente se midieron profundidades de carbonatación menores que las medidas en fechas anteriores. Una posible explicación, sin tomar en cuenta la heterogeneidad del concreto y los defectos puntuales del concreto, puede ser atribuible a defectos puntuales en la aplicación de la pintura. Sin embargo, esto no demerita los resultados obtenidos, pues una graficación de los mismos muestra que la tendencia existe pese a un resultado erróneo.

De la Tabla 3 correspondiente al segundo grupo, se observa que se realizó el mismo número de pruebas, a saber, 4 lecturas por cada mezcla y tipo de pintura, sólo que para este caso, debido a la gran diferencia de

calidades, en el caso de la mezcla de 0.80 se realizaron dos cortes consecutivos, a los 6 y 13 días de colocados los especímenes en la cámara.

Para este caso, en la última prueba realizada, la profundidad de carbonatación en la mezcla de 0.62 se redujo en un 7%, 9% y 79% para los recubrimientos vinílico, vinil-acrílico y alquidálico, respectivamente. En tanto que para la mezcla de 0.80 la profundidad de carbonatación se redujo en un 3%, 7% y 74%, respectivamente. En ambos grupos se puede observar que el tiempo máximo de exposición en el ambiente acelerado fue de 37 días, y que fue registrado para las mezclas de 0.62.

De los resultados para los especímenes de control se puede notar que a mayor relación a/c corresponde la mayor profundidad de carbonatación, lo cual concuerda con la literatura revisada (Cob 2004), también es notable que esta tendencia también prevalece en los especímenes en los que se usaron los distintos tipos de recubrimiento.

**Tabla 3. Profundidades de carbonatación acelerada (segundo grupo)**

Profundidad promedio de carbonatación (en mm)								
Fecha Prueba:	05-Jul-04	09-Jul-04	10-Jul-04	12-Jul-04	19-Jul-04	23-Jul-04	27-Jul-04	22-Ago-04
Tiempo (días)	-1	3	4	6	13	17	21	37
Probeta control								
0.80	4.6	10.4		13.4	18.7		22.5	
0.62	2.8		6.6			10.8		17.7
B - vinífica								
0.80		10.6		12.7	19.1		21.8	
0.62			7.1			11.0		16.4
B - vinil-acrílica								
0.80		11.2		11.8	16.8		21.0	
0.62			6.4			9.7		16.1
B - alquidálica								
0.80		4.5		5.7	9.2		5.9	
0.62			3.7			3.7		3.6

**Análisis de los coeficientes de carbonatación**

El análisis gráfico de las profundidades de carbonatación en función de la raíz cuadrada del tiempo por cada tipo de pintura y relación a/c presentó, en general, una tendencia lineal (Figuras 2 y 3). La pendiente de dicha tendencia es equivalente al coeficiente de carbonatación para dicha combinación de pintura y a/c. El hecho de que se mantenga una tendencia lineal es indicadora de que se mantiene la ley parabólica de penetración del CO<sub>2</sub> a pesar de la existencia de una capa externa superficial, permitiéndonos calcular el coeficiente de carbonatación de manera similar al caso cuando no existe dicha capa. Por lo tanto, el tener una capa de pintura en la superficie del concreto equivale a una reducción de la porosidad del mismo en función de la pintura utilizada.

De los datos de las Tablas 2 y 3 se determinaron los coeficiente de carbonatación (K<sub>c</sub>) en ambiente acelerado, así como el promedio ponderado, los cuales se presentan en las Tablas 4 y 5.

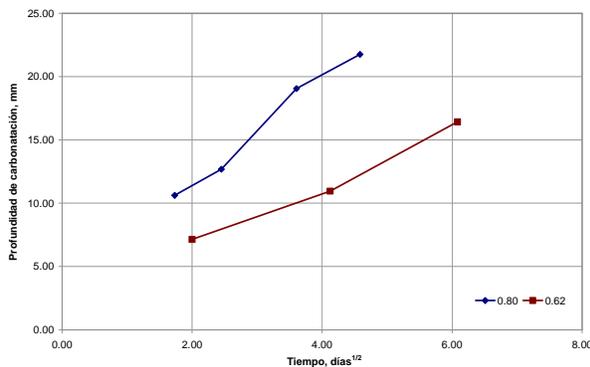
El coeficiente de carbonatación registrado para cada corte se obtuvo con la ecuación (1) con el fin de tomar en cuenta la profundidad de carbonatación inicial (X<sub>0</sub>) experimentada durante el período de acondicionamiento (Moreno y Sagüés 2001).

$$K_c = \sqrt{\frac{X^2 - X_0^2}{T}} \quad (1)$$

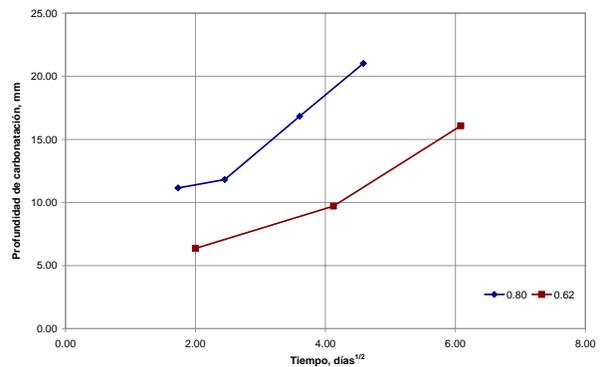
donde T es el tiempo de exposición acelerada (en años), X<sub>0</sub> es la profundidad de la carbonatación inicial (en mm) y X es la profundidad de carbonatación al tiempo T.

Posteriormente, el promedio ponderado  $\bar{K}_c$  se obtiene de acuerdo a la siguiente formula (Moreno y Sagüés 2001):

$$\bar{K}_c = \frac{K_{c1} \cdot (X_1 - X_0) + K_{c2} \cdot (X_2 - X_0) + K_{c3} \cdot (X_3 - X_0) + K_{c4} \cdot (X_4 - X_0)}{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 - 4 \cdot X_0} \quad (2)$$



**Figura 2. Profundidad de carbonatación en función de la raíz cuadrada del tiempo para la pintura vinílica**



**Figura 3. Profundidad de carbonatación en función de la raíz cuadrada del tiempo para la pintura vinil-acrítica**

En la Tabla 4 se puede observar que el recubrimiento alquidálico tuvo un mejor desempeño en cuanto a que redujo en mayor porcentaje el coeficiente de carbonatación. Estos porcentajes fueron del 79%, 85% y 88% menos, con respecto a los especímenes de

control para las mezclas de 0.80, 0.70 y 0.62, respectivamente. Por otra parte, el recubrimiento acrílico redujo el coeficiente de carbonatación en un 74%, 74% y 87% para los de las mezclas de 0.80, 0.70 y 0.62, respectivamente.

Tabla 4. Promedios ponderados de los coeficientes de carbonatación (primer grupo)

K <sub>4,0</sub> (Ambiente al 4.0% de CO <sub>2</sub> ) (mm/año <sup>1/2</sup> )							
Fecha Prueba:	23-Abr-04	01-May-04	07-May-04	13-May-04	19-May-04	02-Jun-04	K <sub>c</sub>
Tiempo (días)	-3	5	11	17	23	37	
CO <sub>2</sub>	0.045%	4%	4%	4%	4%	4%	
Probeta control							
0.80	7.1	137.7	94.8	106.6	100.3		104.4
0.70	5.5	111.8	90.8	76.8	73.8		81.4
0.62	5.0	83.9	70.5		68.7	57.8	64.7
A - acrílica							
0.80		26.6	30.9	27.2	26.3		27.5
0.70		26.0	19.7	24.1	17.8		20.8
0.62		20.8	12.0		4.9	7.5	8.3
A - alquidámica							
0.80		28.0	28.3	15.1	23.7		22.4
0.70		7.2	14.8	12.5	11.7		12.1
0.62		8.7			13.9	4.1	7.9

Haciendo un análisis semejante para el segundo grupo, se observa que el recubrimiento alquidámico nuevamente tiene el mejor desempeño reduciendo el coeficiente de carbonatación en un 73% y 82% para las mezclas de 0.80 y 0.62, respectivamente. Después, le siguió el recubrimiento vinil-acrílico reduciendo el coeficiente de carbonatación en sólo un 8% y 9%. Finalmente el recubrimiento vinílico mostró una reducción del 2% y 4% para las mezclas de 0.80 y 0.62, respectivamente (Ver Tabla 5).

Analizando los promedios ponderados en ambas tablas, se observa que, para cada tipo de pintura,  $\bar{K}_c$  disminuye conforme aumenta la relación a/c. Por lo tanto, el desempeño del recubrimiento como película barrera anticarbonatación no sólo depende de la calidad de dicha película sino también de la calidad del concreto utilizado.

Cabe mencionar que, aunque en ambos casos (A y B) el recubrimiento alquidámico presentó un mejor desempeño, no es aconsejable su uso en concreto, ya que dicho recubrimiento es más adecuado para revestir superficies metálicas, y por lo tanto, no presenta buena adherencia al concreto, lo que lleva a

hacer reparaciones del recubrimiento a temprana edad. Sin embargo, sí son recomendados para usarse en concretos porosos y carbonatados (Trocónis de Rincón et al. 2003), por lo que podrían utilizarse como método preventivo en concretos carbonatados siempre y cuando el frente de carbonatación sea menor que el recubrimiento del concreto sobre la barra de acero.

En cambio, los recubrimientos vinílicos, vinil-acrílicos y acrílicos, que se usaron también en este estudio, están diseñados para poder adherirse a superficies de concreto, por lo que su uso es recomendable. Sin embargo, como se puede observar del análisis anterior, el recubrimiento que mejor desempeño tuvo, de estos tres tipos de recubrimiento, fue el acrílico, al registrar para el caso del primer grupo, porcentajes de reducción muy cercanos al obtenido con el recubrimiento alquidámico; la mayor diferencia se registró en la mezcla de 0.70 con una diferencia del 11%, es decir, el recubrimiento alquidámico redujo, en este caso, el coeficiente de carbonatación en un 11% más con respecto al recubrimiento acrílico.

Tabla 5. Promedios ponderados de los coeficientes de carbonatación (segundo grupo)

K <sub>4,0</sub> (Ambiente al 4.0% de CO <sub>2</sub> ) (mm/año <sup>1/2</sup> )									K <sub>c</sub>
Fecha Prueba:	05-Jul-04	09-Jul-04	10-Jul-04	12-Jul-04	19-Jul-04	23-Jul-04	27-Jul-04	22-Ago-04	
Tiempo (días)	-1	3	4	6	13	17	21	37	
CO <sub>2</sub>	0.045%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	
Probeta control									
0.80	10.2	103.5		98.2	96.1		92.0		94.9
0.62	6.2		56.8			48.1		54.9	53.0
B - vinílica									
0.80		105.7		92.3	98.0		88.7		93.2
0.62			62.7			49.1		50.8	51.1
B - vinil-acrídica									
0.80		112.2		85.0	85.8		85.5		87.4
0.62			54.6			43.1		49.7	48.1
B - alquidámica									
0.80				27.0	42.2		15.6		26.0
0.62			23.3			11.0		7.3	9.5

Los resultados obtenidos (profundidad y coeficiente de carbonatación), en todos los casos mostraron una correlación con las distintas clases de pinturas que se usaron y calidades de concreto empleadas. Para un mismo recubrimiento se observa que a mayor relación a/c corresponde el mayor coeficiente de carbonatación, como era de esperarse.

Finalmente, tomando como base los resultados y recomendaciones mencionados anteriormente, se aconseja el uso de un recubrimiento acrílico 100% para superficies de concreto reforzado tanto para obra nueva como para superficies reparadas, esto es desde el punto de vista de la carbonatación.

### CONCLUSIONES

- A mayor relación a/c corresponde la mayor profundidad de carbonatación, es notable que esta tendencia prevalece en los especímenes en los que se usaron los distintos tipos de recubrimiento.
- Las distintas calidades de pinturas empleadas en esta investigación se correlacionan inversamente con los coeficientes de carbonatación del concreto, la mejor

calidad de pintura corresponde al más bajo coeficiente de carbonatación.

- El empleo de recubrimientos alquidámicos no es recomendable para obra nueva, por su débil adherencia al concreto y debido a la alta alcalinidad del mismo, aún a pesar de ser una excelente barrera al paso del dióxido de carbono; por lo que pudiera utilizarse como método preventivo en elementos antiguos que tengan una capa carbonatada, pero sin que el frente de carbonatación llegue al acero de refuerzo.

- Se recomienda el uso de pinturas acrílicas para efectos de obra nueva y reparaciones, en concretos expuestos a ambientes tropicales no marinos.

### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), y de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Las opiniones y comentarios expresados son de los autores y no necesariamente de las organizaciones participantes.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 211.1-91 (1997). *Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight, and mass concrete* ACI International, Farmington Hills, MI.

Andrade C. (1989). *Manual-Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras,* Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España.

ASTM C 192-98 (2002). *Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory* ASTM International, West Conshohocken, PA.

Keer J. G. (1992). Surface treatments. En “*Durability of Concrete Structures-Investigation, repair, protection,*” Mays G. (Editor), E&F Spon, Londres, Reino Unido, pp. 143-157.

Moreno E. I., (1999). “*Carbonation of blended cement concretes,*” Disertación Doctoral, University of South Florida.

Moreno, E. I., (2000). “*La corrosión del acero de refuerzo inducida por la carbonatación del concreto,*” Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, 4, 2: pp. 43-48.

Moreno, E. I., Sagüés A., A., (2001). “*Impacto de la ceniza volante en la durabilidad de estructuras de concreto en medios no marinos: resistencia a la carbonatación,*” en Memorias del congreso COLLOQUIA 2001, Asociación de miembros del IETcc, España, pp. 145-152.

Moreno E. I., Domínguez, G. G., Cob, E., Duarte, F., (2004). “*Efecto de la relación agua-cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración,*” Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, 8, 2: pp. 117-130.

Moreno E. I., Serrano D., Cob E., (2005). “*Barras de acero galvanizado: una opción contra la corrosión inducida por la carbonatación,*” Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, 9, 2: pp. 17-24.

RILEM Recommendations CPC-18, “*Measurement of hardened concrete carbonation depth*”, Materials and structures, (Francia) 21:1988, núm. 126, pp. 453-455.

Rodriguez, M. P., (2005). “*Reinforced concrete corrosion: Prevention by surface protection systems,*” en Memorias del 47° Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2005, Brasil, pp. VII.187- VII.201.

Trocónis de Rincón, O., et al., (2003). “*Materiales y sistemas de rehabilitación,*” en Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón, P. Helene y F. Pereira, eds., Sao Paulo, pp. 215-250.

---

Este documento se debe citar como:

Serrano Ixtepan D., Moreno E. I. (2006). **Películas barrera: Una opción contra la carbonatación del concreto reforzado.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-2, pp. 37-45, ISSN: 1665-529X