

Investigación de la absorción capilar de hormigones con áridos calizos cubanos

Juan José Howland Albear

Correo electrónico: jhalbear@civil.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Artículo Original

Ana Rosa Martín Acosta

Correo electrónico: anar@ctdmc.co.cu

Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción, MICONS, La Habana

Resumen

Más del 98 % de los áridos utilizados en Cuba en la producción de hormigones, son de origen calizo con elevada porosidad y valores de absorción de agua que en muchos casos superan el 1%. Por otra parte los ensayos de absorción capilar a los hormigones elaborados con estos áridos, por la Norma Cubana NC 345, que valida el método elaborado por Göran Fagerlund, a partir de testigos extraídos en un número considerable de estructuras sometidas a ambientes marinos muy agresivos, mostraron por lo general valores de porosidad efectiva muy superiores a los establecidos para estas condiciones ambientales por la Red DURAR del CYTED. Se llevó a cabo una investigación conjunta entre la Cujae y el CTDMC que demostró la posibilidad de obtener en Cuba hormigones con valores de porosidad efectiva inferiores al 10%, para resistencias a compresión a 28 días no menores de 25 MPa y con relaciones agua/cemento de 0,4 y 0,45, si se cumplen los requisitos establecidos en la normativa cubana en cuanto a los tiempos mínimos de curado (sin dejar secar la superficie) y la compactación completa de los hormigones. No obstante, los valores de la velocidad de absorción capilar (sorptividad), obtenidos por cálculo a partir del mismo ensayo indicado en la Norma Cubana NC 345, no cumplieron en ninguno de los casos con los requerimientos de la RED DURAR, por lo que se recomienda efectuar una investigación más específica y completa de la velocidad de absorción capilar de los hormigones aplicando el método de ensayo de la ASTM C 1585 (ensayo de sorptividad, que presenta diferentes especificaciones en la preparación y conservación de las probetas) y comprobar si es posible cumplir dichos requerimientos con las mismas condiciones anteriormente indicadas.

Palabras clave: hormigón hidráulico, absorción capilar, sorptividad, áridos calizos, durabilidad de los hormigones

Recibido: 9 de marzo del 2012

Aprobado: 20 de abril del 2012

INTRODUCCIÓN

La porosidad del hormigón está reconocida en todo el mundo como uno de los parámetros que más influye en el mecanismo de transporte de los agentes agresivos hacia el interior de su estructura. Específicamente dentro del estado poroso-capilar del hormigón es la porosidad efectiva, o sea, la porosidad interconectada y conectada a su vez con el exterior, la que tiene una influencia decisiva en el intercambio de humedad con el entorno y por lo tanto en la materialización de dichos mecanismos de transporte, por lo que la medida de la porosidad efectiva de los hormigones es a su vez una medida del grado de durabilidad que estos garantizan a las

estructuras de hormigón y hormigón armado, frente a los agentes agresivos. Además, se ha comprobado que cuando el árido utilizado es poroso (lo que se caracteriza por una elevada absorción de agua) se incrementará la porosidad y permeabilidad del hormigón. [1]

Cuba es una isla larga y estrecha ubicada en el Mar Caribe y con un clima húmedo tropical, además está sometida a muy intensos niveles de agresividad, especialmente debido a los iones cloruros y sulfatos por acción del aerosol marino en toda su costa norte en prácticamente todo el año. Los estudios efectuados para evaluar el nivel de agresividad en el entorno marino costero donde se ubica una gran parte de las edificaciones y de toda la infraestructura constructiva del

país, mostraron niveles de deposición de cloruros muy superiores a los considerados como altamente agresivos en la Norma Internacional ISO. [2,3] A esto se suma que más del 80 % de los áridos utilizados en Cuba son calizos, triturados, con bajo contenido de finos (en especial las arenas) y que en general presentan valores de absorción elevados, que pueden llegar a ser superiores al 1 % en peso.

En la normativa cubana se ha adoptado como método de referencia para evaluar la absorción capilar de los hormigones y su porosidad efectiva, el método propuesto por el investigador nórdico Göran Fagerlund, que es a su vez el método recomendado en el documento elaborado por un grupo importante de investigadores de América Latina y España dentro de la comisión de la RED DURAR y en el marco del CYTED. [4,5,6]

Los estudios efectuados sobre testigos extraídos de estructuras de hormigón armado sometidas a ambientes altamente agresivos, como es el caso de los puentes del pedraplén que conecta a la isla grande con el Cayo Santa María, en el norte de la provincia de Villa Clara, han mostrado valores de porosidad efectiva superiores al 10%, aún con hormigones elaborados con relaciones agua/cemento (a/c) de 0,4 tal como establece la Norma Cubana fundamental de especificaciones para el hormigón NC 120:2007, [7] planteándose la duda de que con los materiales disponibles en Cuba, especialmente los áridos, que constituyen entre el 75 y el 80 % de la masa de los hormigones convencionales, se pudieran o no obtener dichos valores de porosidad efectiva. Es necesario aclarar también que el parámetro de un 10 % de porosidad máximo, establecido en el documento de la RED DURAR no deja claro si se trata de la *porosidad efectiva*, o de la *porosidad total*, pues en el mismo aparece también recomendado el método de ensayo de *hervidura* de la probeta en agua, que ha sido con razón muy criticado por prestigiosos autores como la doctora María del Carmen Andrade, del Instituto Eduardo Torroja de España en conversación personal con los autores de este artículo. La experiencia de muchos ensayos realizados para la determinación de la *porosidad total* de hormigones por el método de la *hervidura* de la probeta en agua, establecido en la Norma Norteamericana ASTM C 642-06[8], mostraron siempre valores no solo muy elevados, sino también muy dispersos y en ocasiones incoherentes, pues la elevación de la temperatura al orden de los 100°C al nivel medio del mar, ejerce una fuerte influencia en la deformación del diámetro de los pequeños poros capilares, lo que falsea notablemente los resultados. Este efecto puede observarse también claramente en los resultados de otras investigaciones ya publicadas, como sucede en la tabla 3 del artículo sobre el desempeño de hormigones de escorias activadas con álcalis. [9] Otra alternativa más viable e interesante podría ser el ensayo de sometimiento de las probetas de hormigón sumergidas en agua dentro de una cámara de vacío, que aunque acelerado, al menos no interfiere en la modificación de los poros capilares por

incremento de la temperatura, este es el método que por conocimiento directo se sabe que utiliza la doctora Oladys Troconis de Rincón en su laboratorio de Maracaibo, Venezuela.

El documento de la RED DURAR del CYTED, [6] en su página 121 plantea también como criterio alternativo de valoración, obtenible también a través del propio método de ensayo de absorción capilar de Göran Fagerlund, un parámetro que denomina *S* (*sorción*) y que se interpreta como el ritmo o velocidad de la absorción capilar. Al efecto se plantea que en ambientes severos, para espesores de recubrimiento del acero de refuerzo de 30 mm, se recomiendan valores inferiores o iguales a $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$. Esta velocidad de absorción capilar es como concepto, el mismo establecido en el método de ensayo ASTM C1585-04 [10] donde se conoce con el concepto *sorptivity* (que no tiene una traducción literal al español) y no se considera adecuado nombrarla *sorción*, que en idioma español se utiliza como sinónimo de *absorción*, y por lo tanto lo se ha denominado *sorptividad*.

Hay que indicar que el método de ensayo establecido en la Norma Norteamericana para determinar la *sorptividad*, tiene un grupo de especificaciones diferentes al método de Göran Fagerlund, por ejemplo, el espesor de la probeta de ensayo es superior, por lo que no necesariamente se llega al estado de saturación en los tiempos previstos y por otro lado durante el proceso del ensayo, la probeta se mantiene en un recipiente herméticamente cerrado, lo que crea cierta presión de vapor ambiental. Estas especificaciones pueden llegar a influir sobre los resultados de los ensayos.

Atendiendo a todo lo antes expuesto se decidió efectuar una investigación dirigida a estudiar la posibilidad real de obtener en Cuba, con los áridos calizos disponibles y cumpliendo los requerimientos normativos en cuanto a compactación y curado, hormigones con porosidad efectiva iguales o inferiores al 10%, para una variación de la relación a/c entre 0,4 y 0,6, con el empleo de aditivos superplastificantes, asentamientos por el cono de Abrams de $15 \pm 2 \text{ cm}$ y para resistencias a compresión a 28 días no inferiores a 25 MPa.

MATERIALES Y MÉTODOS

En una primera etapa se realizó el diseño total de la experimentación y se caracterizaron cuidadosamente las materias primas utilizadas para la producción de los hormigones.

El cemento utilizado fue un cemento Portland ordinario (CPO) de calidad P-35 de la fábrica René Arcay del Mariel, en la Provincia de Artemisa, con hasta un 5% de adición activa, tal como establece la Norma Cubana vigente. [11] Este cemento es el más utilizado en toda la región occidental del país y en su caracterización se comprobó que el mismo cumple exhaustivamente con los requisitos normativos.

El árido grueso utilizado procedió de la cantera Alacranes en la Provincia de Matanzas, es una gravilla con fracción

20–10 mm, de roca caliza dura, con tamaño máximo nominal de 19,1 mm, con un valor de absorción de 0,93 %. Este árido incumplió con el requerimiento de la Norma Cubana de requisitos de los áridos [12] en cuanto al porcentaje de material más fino que el tamiz de 0,074 mm, que resultó superior al 1%.

Como árido fino se previó en el diseño de la investigación estudiar dos alternativas: Emplear una arena de trituración de roca caliza dura, proveniente de la cantera Dragón Camoa y emplear una combinación de arena de roca caliza dura de la cantera Dragón Camoa con una arena calcárea blanda, procedente de la cantera La Victoria II.

La arena de la cantera Dragón Camoa, con un valor de absorción de 0,21%, incumple con los requerimientos de la Norma Cubana en la granulometría (más gruesa) y con el porcentaje pasado por el tamiz de 0,074 mm, que resultó superior al 5 %.

La arena de la cantera La Victoria II, con un valor de absorción de 1,81 %, incumple con los requerimientos de la Norma Cubana en la granulometría (es ligeramente más gruesa).

El aditivo químico utilizado fue un superplastificante-retardador (tipo G según la clasificación ASTM) de segunda generación a base de Naftalen Formaldehído Sulfonato (NFS).

Los hormigones fueron diseñados partiendo del método del ACI 211.1 de 1991, reprobada en el 2002,[13] asumiendo una mezcla de consistencia seca (25 a 50 mm) y alcanzando con el aditivo superplastificante un asentamiento por el cono de Abrams de 15 ± 2 cm. Los áridos finos y gruesos fueron combinados por el método de Fuller.

En la tabla 1 se muestran los diseños de los hormigones utilizados, cada uno de los cuales se repitió tres veces. De cada uno de estos diseños se fabricaron tres probetas cilíndricas normalizadas de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura y tres más para extraer las probetas destinadas a los ensayos de absorción capilar por el método establecido en la Norma Cubana NC 345:2005. [4] Todas estas probetas fueron compactadas muy cuidadosamente y recibieron curado húmedo sumergidas en un tanque con solución saturada de hidrato de cal hasta el momento del ensayo (pasados los 28 días).

Las probetas para el ensayo de absorción capilar se extrajeron por corte de sierra a partir las probetas de 150 - 300 mm, con espesor de 30 mm y del centro de las mismas se perforaron las definitivas a ensayar con una broca de 70 mm para que no poseyeran ninguna fisura. Esto se hizo con el objetivo de evitar el clásico efecto pared que caracteriza a los bordes de las probetas elaboradas en sus moldes.

Las probetas ya obtenidas fueron preacondicionadas a equilibrio de humedad con un secado a 60 °C hasta peso constante (diferencias en peso por debajo del 0,1 %) y posterior enfriamiento en desecador. A continuación recibieron un tratamiento impermeable en las áreas laterales con resina epoxi (figura 1), se pesaron (figura 2) y se colocaron en sus extremos sobre cintillos de madera finos. Se garantizó una altura de agua de 5 mm por encima del borde inferior de las probetas y la altura constante del agua a ese nivel se mantuvo con una probeta llena de agua en posición invertida a 5 mm por debajo del agua en la bandeja, tal como se muestra en la figura 3.

Todos los ensayos se realizaron con una temperatura ambiente promedio de 25°C y una humedad relativa promedio de 86%.

Las probetas se pesaron antes de ser puestas en contacto con el agua y después a intervalos de tiempo de 1; 2; 3; 4; 6; 24; 48; 72; 96, etc. Hasta que el peso se mantuvo constante.



Fig. 1. Las probetas reciben tratamiento impermeable por los laterales con resina epoxi.



Fig. 2. Las probetas ya tratadas son pesadas antes de comenzar el ensayo de absorción.



Fig. 3. Disposición de las probetas cilíndricas para el ensayo de absorción capilar.

Código	A/C	Cemento P-35 (kg/m ³)	Arena Dragón Camoa (kg/m ³)	Arena Victoria (kg/m ³)	Gravilla Alacranes (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)	Aditivo NFS (L/m ³)	Asent. Por el cono 15 ± 2 cm	Resistencia Compresión a 28 días (MPa)
D-0.4	0,4	350	1 169	-	780	140	6,432	17.5	30,5
D-0.45	0,45	350	1 141	-	761	158	5,564	16.5	27,1
D-0.5	0,5	350	1 113	-	742	175	3,709	17	24,4
D-0.6	0,6	350	1 057	-	705	210	1,376	15	22,0
1D-0.4	0,4	350	1 169	-	780	140	6,192	16	29,0
1D-0.45	0,45	350	1 141	-	761	158	5,444	15	27,0
1D-0.5	0,5	350	1 113	-	742	175	3,081	15	26,0
1D-0.6	0,6	350	1 057	-	705	210	1,226	14	22,2
2D-0.4	0,4	350	1 169	-	780	140	6,192	16	30,3
2D-0.45	0,45	350	1 141	-	761	158	5,325	14	27,3
2D-0.5	0,5	350	1 113	-	742	175	3,081	15	26,1
2D-0.6	0,6	350	1 057	-	705	210	1,226	14	22,8
DV-0.4	0,4	350	881	347	772	140	6,073	17	35,5
DV-0.45	0,45	350	791	339	753	158	4,966	17	31,4
DV-0.5	0,50	350	772	331	735	175	3,590	17	27,7
DV-0.6	0,6	350	733	314	698	210	0,987	16	25,5
1DV-0.4	0,4	350	881	347	772	140	6,013	16	34,5
1DV-0.45	0,45	350	791	339	753	158	4,816	16	32,3
1DV-0.5	0,5	350	772	331	735	175	3,470	16	26,8
1DV-0.6	0,6	350	733	314	698	210	0,868	15	25,0
2DV-0.4	0,4	350	881	347	772	140	5,953	15	35,2
2DV- 0.45	0,45	350	791	339	753	158	4,697	15	32,6
2DV-0.5	0,5	350	772	331	735	175	2,722	15	28,9
2DV-0.6	0,6	350	733	314	698	210	0,868	15	27,2

Se calculó para cada probeta, la resistencia a la penetración del agua m por la ecuación 1:

$$m = \frac{t_n}{h^2} \text{ (s/m}^2\text{)} \quad (1)$$

donde:

t_n : Tiempo en el punto crítico de saturación de la probeta, expresado en segundos (s).

h : Altura o espesor total del espécimen, expresada en metros (m).

Se determinó además el coeficiente de absorción capilar k por la ecuación 2:

$$k = \frac{Q_n - Q_0}{\sqrt{t_n}} \cdot \frac{1}{A} \text{ (kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}\text{)} \quad (2)$$

donde:

Q_0 : Peso del espécimen al inicio expresado en kilogramos (kg).

Q_n : Peso del espécimen en el punto crítico expresado en kilogramos (kg).

t_n : Tiempo en el punto crítico (obtenido del gráfico) expresado en segundos (s).

A : Área de succión del espécimen expresada en metros cuadrados (m²).

Se determinó también la porosidad efectiva ξ por la ecuación 3:

$$\xi = \frac{Q_n - Q_0}{A \cdot h \cdot 1000} \text{ (\%)} \quad (3)$$

donde:

h : Altura o espesor total del espécimen expresada en metros (m).

Q_0 : Peso del espécimen al inicio expresado en kilogramos (kg).

Q_n : Peso del espécimen en el punto crítico expresado en kilogramos (kg).

A : Área de succión del espécimen expresada en metros cuadrados (m²).

1000: Densidad del agua en kilogramos por metros cúbicos (kg/m³).

Por otra parte la velocidad de absorción capilar o sorptividad S se calculó por la ecuación 4:

$$S = \frac{1}{\sqrt{m}} = \frac{h}{\sqrt{t}} \text{ (m} \cdot \text{s}^{1/2}\text{)} \quad (4)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se muestran los resultados promedio obtenidos como resultado de los ensayos efectuados para cada variante de diseño de mezcla en cada uno de estos parámetros.

En la figura 4 se muestra como ejemplo una de las curvas obtenidas de absorción capilar para las muestras con código D.

La dispersión máxima de los valores obtenidos para la porosidad efectiva en las repeticiones efectuadas de los ensayos, son en todos los casos inferiores a un 2%, con una única excepción del hormigón con arena de Dragón Camoa para una relación a/c de 0,6 que dio 3,16%. Estos valores se consideran adecuados, lo que demuestra que los ensayos se efectuaron con rigurosidad.

Código	K (kg/m ² ·s ^{1/2})	m (s/m ²)	Porosidad Efectiva		Sorptividad (m·s ^{1/2})
			(%)	Desviación Típica (%)	
D-0.4	6,56 · 10 ⁻³	1,08 · 10 ⁸	6,96	0,13	9,73 · 10 ⁻⁵
D-0.45	9,42 · 10 ⁻³	8,43 · 10 ⁷	8,57	0,138	1,10 · 10 ⁻⁴
D-0.5	1,34 · 10 ⁻²	6,14 · 10 ⁷	10,30	0,167	1,29 · 10 ⁻⁴
D-0.6	1,90 · 10 ⁻²	5,53 · 10 ⁷	14,00	0,26	1,36 · 10 ⁻⁴
DV-0.4	5,03 · 10 ⁻³	1,33 · 10 ⁸	5,60	0,11	8,69 · 10 ⁻⁵
DV-0.45	7,32 · 10 ⁻³	9,36 · 10 ⁷	6,99	0,13	1,04 · 10 ⁻⁴
DV-0.5	1,02 · 10 ⁻²	7,09 · 10 ⁷	8,57	0,171	1,19 · 10 ⁻⁴
DV-0.6	1,79 · 10 ⁻²	4,61 · 10 ⁷	12,02	0,38	1,47 · 10 ⁻⁴

En la tabla 2 se puede observar, cómo para las relaciones agua/cemento de 0,4 y 0,45 la porosidad efectiva obtenida es en todos los casos inferior al 10 %, tanto para los hormigones elaborados con la arena de Dragón Camoa, como para los elaborados con la mezcla de arena Dragón Camoa y arena de La Victoria, mientras que para las relaciones agua/cemento de 0,5 y 0,6 los valores se encuentran entre 10 y 14 % (con la única excepción de los hormigones de la serie DV-0.5 que tienen una porosidad efectiva de 8,57 %). Se comprobó mediante pruebas de hipótesis la significación estadística de las diferencias de los valores obtenidos y que están indicados en la tabla 2, demostrándose que todos pertenecen a una misma población.

A pesar de que el documento de la RED DURAR del CYTED, [6] al evaluar la durabilidad de los hormigones por su porosidad, no aclara para qué tipo de porosidad se establecen los mismos (tal como se explicó anteriormente), se ha logrado comprobar a través de esta investigación, que para hormigones con relaciones agua/cemento 0,4 y 0,45, con áridos calizos triturados y manteniendo la adecuada disciplina tecnológica en cuanto a garantizar una compactación completa del hormigón y un cuidadoso curado, se puede cumplir con la obtención de una porosidad efectiva inferior al 10% que caracteriza (según el documento de la RED DURAR) a los hormigones que pueden desempeñarse con una adecuada durabilidad en un ambiente agresivo. En tanto que los hormigones con relaciones agua/cemento de 0,5 y 0,6 clasifican en el entorno de porosidad efectiva entre 10 y 15%, o sea, de moderada calidad, permeables y no adecuados por su desempeño para ambientes agresivos.

Se puede observar que los hormigones elaborados con la mezcla de las arenas de las canteras Dragón Camoa y La Victoria alcanzaron menores porosidades que los que tienen solo arena Dragón Camoa como árido fino, lo que es totalmente lógico al lograrse una mejor reducción de los vacíos dentro del hormigón; pues la arena de la Victoria utilizada posee un módulo de textura más bajo.

La cantidad de agua absorbida y los porcentajes de absorción se corresponden con los resultados de las porosidades, los mismos tienen un orden creciente de acuerdo con el aumento de la relación a/c lo que muestra una tendencia lógica; este aspecto se puede observar también en las tablas y gráficos de la absorción.

La *sorptividad* no es un valor establecido en el método de ensayo de Göran Fagerlund que es el método que corresponde con la Norma Cubana vigente, sino en la Norma Norteamericana ASTM. Los valores obtenidos de *sorptividad*, tal como pueden apreciarse en la tabla 2, están por encima de $8,51 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$ en todos los casos. Esto indica que no se cumplen los parámetros establecidos por la RED DURAR del CYTED, que establecen para las estructuras de hormigón con un espesor de recubrimiento del acero de 30 mm, en ambiente agresivo, un valor recomendado de $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$. El documento de la RED DURAR no aclara de qué fuente se tomó dicho valor, pero en esta investigación resulta evidente que existe una contradicción clara entre los valores de porosidad efectiva obtenidos con estos valores de *sorptividad*.

CONCLUSIONES

Analizando todos los resultados obtenidos en la investigación se ha puesto de manifiesto que siempre que se cumpla con las buenas prácticas establecidas en la Normas Cubanas, especialmente en lo referente al control, la compactación y el curado de las mezclas de hormigón, es factible utilizar los criterios establecidos en el Documento de la RED DURAR del CYTED para evaluar la durabilidad de los hormigones elaborados con áridos calizos triturados de acuerdo con los resultados de su *porosidad efectiva*, siempre que se garantice que las mezclas mantengan relaciones agua/cemento máximas de 0,4 y 0,45. Hay que destacar que algunos valores con relaciones agua/cemento de 0,45 estuvieron muy cercanos al 10 %. No sucede igual con los valores de la velocidad de la absorción capilar (*sorptividad*)

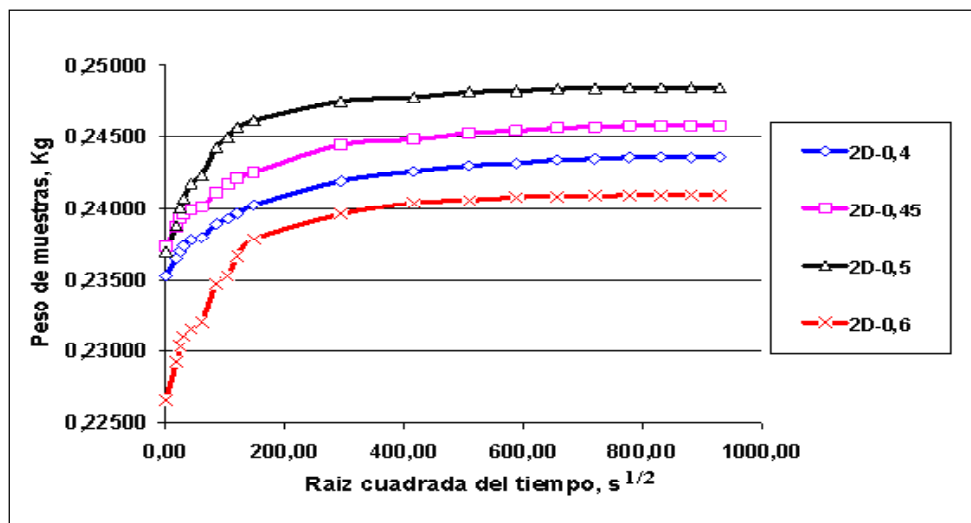


Fig. 4. Ejemplo de una de las curvas obtenidas de la absorción capilar del hormigón.

planteados como referencia en el documento de la RED DURAR del CYTED para los hormigones expuestos a determinados ambientes, lo que nos indica que existe una contradicción que no queda clara en el establecimiento de ambos límites. En estos momentos está en proceso de desarrollo una investigación detallada dedicada al estudio específico de la *sorptividad*, aplicando íntegramente los requerimientos de la Norma Norteamericana ASTM C-1585-4 [8] con la utilización de hormigones convencionales y áridos calizos cubanos, lo que permitirá arribar a conclusiones definitivas sobre este tema. Hay que destacar que el ensayo recomendado en esta norma es uno de los seleccionados por la Asociación Norteamericana del Hormigón Premezclado (NRMCA) de los EE.UU. para su lanzamiento de la Iniciativa P2P (*Prescription to Performance*) que establece el paso paulatino de las especificaciones prescriptivas a las especificaciones por desempeño en los hormigones, después de haber revisado un amplio espectro de especificaciones y normas en muy diversos países del mundo. [14]

RECONOCIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen a la Dirección de Desarrollo Tecnológico del Ministerio de la Construcción de Cuba, que financió la realización de esta Investigación.

REFERENCIAS

1. NEVILLE, A. M. y BROOKS, J.J. *Tecnología del concreto*. México D.F.: Editorial Trillas, 1992, p. 205.
2. CASTAÑEDA, Abel; CORVO, Francisco; HOWLAND, Juan José and PEREZ, T. "Atmospheric Corrosion of Concrete Reinforced Bars in Tropical Coastal Regions". Ponencia presentada en el *Congreso Europeo de Corrosión (EUROCOR 2011)*. Estocolmo, Suecia, Septiembre, 2011.
3. *Norma Internacional ISO 9223:1992 Corrosion of Metals and Alloys – Corrosivity of Atmospheres. Classification.*
4. *Norma Cubana: NC 345:2005 Hormigón endurecido – Determinación de la absorción de agua por capilaridad.*
5. FAGERLUND, Göran. "On the Capillarity of Concrete". *Nordic Concrete Research*. Oslo, Noruega, Dic., 1982.
6. ULLER, Leonardo. *et al.* "Manual for Inspecting, Evaluating and Diagnosing Corrosion in Reinforced Concrete Structures, DURAR Thematic Network XV.B. Durability of Rebars", CYTED Iberoamerican Program Science and Technology for Development, Maracaibo, Venezuela, 2000.
7. *Norma Cubana: NC 120:2007 Hormigón hidráulico – Especificaciones.*
8. *Norma Norteamericana ASTM C642-06 (2006) Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.*
9. BERNAL, S. A. *et al.* "Effect of Binder Content on the Performance of Alkali-Activated Slag Concretes". *Cement and Concrete Research*, 41 (2011), pp. 1-8.
10. *Norma Norteamericana: ASTM C 1585-04 (2004) Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water.*
11. *Norma Cubana: NC 95:2001 Cemento Portland. Especificaciones.*
12. *Norma Cubana: NC 251:2005 Áridos para hormigones hidráulicos – Requisitos.*
13. *Norma Norteamericana: ASTM C211. 1-91 (reaprobada en el 2002), Práctica normativa para seleccionar las proporciones de un hormigón normal, de alta densidad y masivo.*
14. BICKLEY, J. A.; HOOTON, R. D. and HOVER, K.C. "Performance Specifications for Durable Concrete. Current Practices and Limitations". *Revista Concrete International*. USA, September, 2006.

AUTORES

Juan José Howland Albear

Ingeniero Civil, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Investigador Titular, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Ana Rosa Martín Acosta

Ingeniera Química, Investigadora Auxiliar, Departamento de Diagnóstico, Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción, Ministerio de la Construcción, La Habana, Cuba

Research about the Capillary Absorption of Concretes with Cuban Limestone Aggregates

Abstract

More than the 98 % of the aggregates used in Cuba have a limestone origin, with absorption values more than 1% in the majority of the cases, and with a high porosity too. On the other hand the tests of capillary absorption by Göran Fagerlund method, over concrete cores taken from several real structures submitted to very aggressive marine environments, have shown porosity values higher than the indicated by the DURAR Latin Working Group. A research was developed by the Technical University (Cujae) and the Center of Construction Researching (CTDMC) of Havana, that showed us the possibility to obtain in Cuba concretes with values of effective porosity lower than 10% with w/c ratios of 0,4 and 0,45 if the normative requirements established in Cuban Normative about the concrete minimum curing time and a full consolidation are fulfilled. However the absorption speed values (Sorptivity) with the same Cuban Standard NC 345, were not fulfilled in any cases the requirements established by the DURAR Latin Working Group. A more specific and complete research about the trial method proposed by the ASTM C 1585 (Sorptivity test, which have different specifications about the preparation of the samples) was recommended to compare its values with the requirements proposed by the DURAR Latin Working Group

Keywords: hydraulic concrete, capillary absorption, sorptivity, limestone aggregates, concrete durability.