

Experiencias en el uso de hormigones de alto desempeño con áridos calizos, en estructuras sometidas a fuerte aerosol marino

Vitervo A. O'Reilly Díaz

Presidente Comisión Nacional Cemento y Hormigón;
Ministerio de la Construcción – Cuba;
Habana – [Cuba]
vorelly@infomed.sld.cu
vitervooreilly4@hotmail.com

Eduardo Jesús Pérez García

Director Laboratorio Provincial Ciego de Ávila;
Carretera Central y Circunvalación;
Ministerio de la Construcción – Cuba.
Ciego de Ávila – [Cuba]
ivedy@trocha.cav.sld.cu
ej.perezgarcia@gmail.com

Los autores del presente trabajo realizaron una investigación con el objetivo de lograr hormigones de alto desempeño con áridos calizos. El diseño de estas mezclas fue usado en la producción de hormigones armados para las vigas de los puentes del pedraplen Turiguano-Cayo Coco, al norte de Cuba, los cuales están sometidos a la acción del aerosol marino. Se lograron hormigones de alto desempeño con áridos calizos, con el uso de un Método de dosificar hormigón que tiene en cuenta las formas del árido grueso.

Palabras clave: Áridos calizos. Hormigón de alto desempeño. Método de dosificación.



1 Introducción

El hormigón es una piedra artificial que se derivada de piedras naturales, ello hace que el producto resultante sea un material relativamente barato. Producirlo con calidad y de acuerdo a las características que exige el medio que circunda la estructura que se construirá con él, permite seguir disfrutando sus cualidades excepcionales y su uso masivo como material de construcción. Cada día son mayores las exigencias de prestaciones a las estructuras de hormigón (COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON, 1992), lo que obliga a un mejoramiento en el uso de sus materiales componentes, los aditivos, las adiciones y su proceso tecnológico de producción que garanticen sus optima propiedades mecánicas a diferentes edades, así como su durabilidad frente a los agentes agresivos. Algunos investigadores (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1991; ANDRADE; GONGÁLEZ, 1988; ANDRADE, 1989) piensan que para lograr un hormigón durable es suficiente con diseñar las mezclas con baja relación agua - cemento (a/c), lo cual no es exactamente así, porque se pueden obtener hormigones mal proporcionados, que pueden tener una baja relación a/c y sin embargo ser altamente porosos.

El desarrollo de la humanidad ha sido fundamentalmente en zonas portuarias costeras, como medio de garantizar las comunicaciones. En sus inicios no se conocía en toda su magnitud los efectos del aerosol marino, que con el de cursar del tiempo, se ha estudiado con profundidad, en concordancia con las manifestaciones de daños en construcciones elaboradas con hormigón.

En la actualidad se han fomentado zonas turísticas en las costas y cayos en general que tienen grandes volúmenes de construcciones elaboradas con hormigón. Las estructuras de hor-

migón construidas no solo deben satisfacer los requisitos de resistencia mecánica, sino que además garantizar su durabilidad en función de la vida útil proyectada. Ante las cada vez mayores exigencias se desarrollaron científicamente aditivos, adiciones, métodos de proporcionamiento y tecnologías que los garanticen. Existe además el criterio de que solo con áridos naturales de ríos, se alcanzan las exigencias actuales (MEHTA; MONTEIRO, 1998).

2 Objetivo de la investigación

Al no disponer de áridos (agregados) naturales de río en la provincia de Ciego de Ávila, Cuba, se realizó esta investigación para producir hormigones de elevado desempeño que satisfagan las crecientes necesidades de producirlo para estructuras sometidas a fuerte aerosol marino, elaboradas con los cementos disponibles en el país y áridos gruesos y finos de origen calizos triturados, empleando diferentes métodos de dosificar (ACI, 1991; O'REILLY, 1990; O'REILLY; PÉREZ-GARCÍA, 1995) como son el de Rothfuchs, el de Modulo de Finura, el ACI y el de O'Reilly.

3 Investigación

La dosificación del hormigón es un factor que influye de forma significativa en el comportamiento futuro de este, como elemento protector del acero de refuerzo (COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON, 1993). En resumen, la dosificación es el arte de balancear los componentes de la mezcla de un hormigón que de forma económica garanticen las exigencias mecánicas y de durabilidad.

Los nuevos conocimientos científicos avallados por la práctica de producción (CyTED, 1997), aportan que en el diseño de las mezclas de hormigón hay que tener en cuenta los siguientes factores que garanticen su máxima compacidad, minimun de poros y por ende, su durabilidad:

- a) La forma de proporcionar los áridos componentes de la mezcla, que garantice el menor volumen de vacío que será ocupado por la pasta de cemento endurecida.
El porcentaje de vacío del conjunto granular de una mezcla para hormigón, determina el volumen de pasta necesario para alcanzar una determina docilidad. La mayor influencia de los agregados en el consumo de pasta se debe a la forma y la textura superficial de estos. Un caso común surge cuando se deben dosificar hormigones con áridos que tienen distintas formas y texturas de sus partículas.
- b) La influencia que ejerce la cantidad de agua de la mezcla en la consistencia del hormigón en estado fresco.
- c) Lo determinante que es la relación agua - cemento, la cual podrá ser mejorada sustancialmente con el uso de aditivos químicos.
- d) El grado de hidratación del cemento en la cantidad de poros del hormigón endurecido.
- e) La influencia de la “característica de forma” de los áridos que se empleen, en la calidad final del hormigón.

4 Procedimiento

Siguiendo los principios antes enunciados se comenzó por determinar la relación óptima de los áridos que disponemos para la producción de hormigón. Se realizaron combinaciones de arena y grava por diferentes métodos de dosificación, obteniéndose los siguientes resultados: (Tabla 1).

Tabla 1: Resultados de la combinación por diferentes métodos. Según investigación previa ya publicada

Método	Rothfuchs	Modulo de finura	A.C.I.	O'Reilly
Proporción Arena: grava	38: 62	34 : 63	35 : 65	45 : 55

Fuente: O'Reilly; Pérez-García, 1995.

En todos los casos se determinó el porcentaje de vacío generado por cada uno de los métodos, obteniéndose el menor porcentaje, por el Método O'Reilly. Se observo que todos los áridos gruesos de forma irregular, obtenidos por trituración, requieren de una cantidad de arena mucho mayor, por dicho método, que los que se obtienen por el método basado en la granulometría óptima. Por los estudios comparativos entre diversos métodos de dosificar hormigón y por las experiencias de más de 25 años en América y otros Continentes, usamos el Método O'Reilly para realizar la investigación, al tener en cuenta que este método:

- 1 Determina la forma de proporcionar los áridos, por el método de volumen mínimo de vacío creado por el.
- 2 Tiene en cuenta la “característica de forma” de los áridos grueso
- 3 Incluye en su ecuación, la influencia directa de la consistencia del hormigón en estado fresco, en la resistencia del hormigón.
- 4 Determina de forma más exacta la cantidad de agua, necesaria para una consistencia requerida.

5 Materiales empleados

- Áridos o Agregados : de origen calizos, triturados (arena y grava)
- Cemento: Pórtland



- Aditivo: Súper plastificante de base lignosulfonato.
- Silica Fume: con un contenido de SiO₂: mayor de 87% (amorfo).

6 Materiales para un m³ de hormigón

Se elaboraron pruebas de orientación para precisar el comportamiento de los materiales empleados, para la mezcla final, para lo cual se selecciono de las calculadas la siguiente:

Tabla 2: Materiales para un m³ de Hormigón en kg calculado sobre la base de la proporción óptima de agregados según el Método de O'Reilly

Cemento	Arena	Gravilla	Agua	Aditivos	Silica Fume
500	767	938	150	5	40

Fuente: Los autores.

7 Resultados físicos – mecánicos

De las diferentes mezclas estudiadas, seleccionamos la que su consistencia obtenida es 12 cm., medida en el Cono de Abrams (NC 174, 2002), a la cual determinamos su resistencia (NC 221, 2002), porosidad y capilaridad (CyTED, 1997) a diversas edades.

8 Características de la obra

A partir del segundo semestre de 1980, se realizan numerosas visitas a la cayería norte de la provincia de Ciego de Ávila, Cuba, principalmente a Cayo Coco, con el objetivo de materializar la idea de incorporar esta rica zona a

Tabla 3: Resultados resistencia a compresión del hormigón endurecido según la Normativa Cubana al efecto

Edad	No. Muestra	Media MPa.	Desviación MPa.	Porosidad %
3 días	26	39.3	0.43	3,1
	30	33.9	1.19	3,5
	34	31.8	0.63	4,2
7 días	27	54.8	0.75	5,2
	31	54.3	0.63	5,2
	35	50.8	0.63	5,8
28 días	28	71.2	0.70	7,2
	38	75.2	0.33	6,7
	42	77.7	0.63	6,5
	46	72.6	0.38	7,0
	39	71.4	0.33	7,1
	40	75.2	0.66	6,8
56 días	29	85.2	0.70	8,1
	32	86.2	0.65	8,2
	36	84.7	0.68	8,2
	3	86.2	0.71	8,3
	1	84,6	0.35	8,5
	44	86,7	0.68	8,7

Fuente: Los autores.

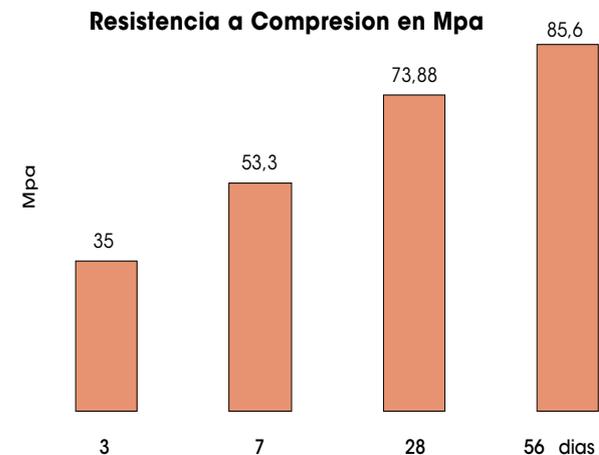


Figura 1: Incremento de la Resistencia a Compresión con la edad

Fuente: Los autores.

la “Isla Grande”, poder explotar y desarrollar un importante polo turístico. Para materializar la idea, se construyó un viaducto a través de la bahía de los Perros al norte de Ciego de Ávila. Como consecuencia de la agresividad

Tabla 4: Capilaridad del hormigón endurecido determinada según el método de ensayo propuesto por Göran Fagerlund tomado del Manual de la RED DURAR

Edad	Capilaridad					
	Resistencia a la penetración m (s/m ²)		Coeficiente de Absorción capilar		Porosidad efectiva	
			K (kg/m ² s ^{-1/2})		Ɛe (kg/m ³)	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
3 días	962137290	5239390	435	20.2	0.059	0.005
	656689170	4763520	470	24.8	0.052	0.005
7 días	1177281400	755926	361	8.14	0.045	0.002
	1030877300	1281114	336	7.44	0.048	0.002
28 días	1977281400	3918841	240	13.7	0.019	0.001
	1930877300	6746787	201	29.6	0.012	0.003
	1920428148	1471603	223	15.6	0.015	0.002
	1912702560	1323063	265	81	0.018	0.001
56 días	2435496400	4377056	285	14,5	0.021	0.002
	2389092300	7205002	246	31,2	0.015	0.001
	2378643148	1929818	268	16,4	0.018	0.005
	2370917560	1781278	310	82	0.023	0.005

Fuente: Los autores.



Foto 1: Manifestación del primer síntoma de corrosión de la barra de acero en las vigas

Fuente: Los autores.



Foto 2: Desprendimiento del Recubrimiento inferior por corrosión de la barra.

Fuente: Los autores.

del ambiente marino en la bahía, condicionado a su vez por deficiencias técnicas, al no considerar en la ejecución inicial, de las estructuras de hormigón, los niveles actuales y futuros de los iones cloruros en el agua. Además de no proteger, bajo algún tratamiento las bases de los puentes expuestos a un medio en extremo agresivo, así como utilizar puentes destinados a otros usos, que tampoco consideran la agresivi-

dad del medio. A sólo 12 años de explotación del viaducto, se encuentran ejemplos concretos de corrosión, fundamentalmente en los puentes donde la explosión del hormigón ha dejado al descubierto las estructuras interiores del acero, que en la actualidad están fuertemente corroídas como se observa en las fotos tomadas en la tesis de Maestría de uno de los autores (PÉREZ-GARCÍA; SEIGLIE; FERNANDEZ, 2001).



Foto 3: Desprendimiento del recubrimiento y pérdida de sección de la barra de acero

Fuente: Los autores.



Foto 4: Corrosión generalizada de todos los elementos

Fuente: Los autores.

9 Rediseño de la dosificación:

Partiendo de los resultados logrados en la investigación anteriormente expresada, ajustamos la dosificación a las exigencias necesarias para la obra seleccionada.

Para dicha obra se solicitó un hormigón con una resistencia característica a los 28 días de 35.0

MPa. y una porosidad menor al 10 % por el ambiente agresivo a que esta sometida, resultando las siguientes cantidades:

Tabla 5: Dosificación para un m³ en kg. que cumple con los requisitos de proyecto y elaborada según el Método de O'Reilly

Cemento	Arena	Grava	Agua	Silica	Aditivo
450	870	895	180	40	4.5

Fuente: Los autores.



Foto 5: Producción de las vigas prefabricadas con la dosificación resultante

Fuente: Los autores.



Foto 6: Colocación de las vigas prefabricadas en el puente correspondiente

FUE Fuente: Los autores. nte: Los autores.

Tabla 6: Comportamiento de la Resistencia a la compresión a las diferentes edades de esta dosificación.

No.	R'bm 7 días(MPa)				R'bm 28 días(MPa)				R'bm 56 días(MPa)			
	1	2	3	Media	1	2	3	Media	1	2	3	Media
1	28,3	29,5	30,4	29,4	39,2	39,3	39,6	39,4	58,8	59,0	59,4	59,1
2	27,2	28,0	28,5	27,9	36,3	36,8	37,7	36,9	55,9	56,7	58,1	56,9
3	29,7	31,1	31,2	30,7	40,6	41,0	43,6	41,7	58,9	59,5	63,2	60,5
4	33,5	34,2	35,1	34,3	39,2	41,0	41,5	40,6	56,8	59,5	60,2	58,8
5	40,9	43,0	44,6	42,8	46,1	49,0	49,1	48,1	61,3	65,2	65,3	63,9
6	32,3	32,4	33,5	32,7	40,3	40,3	40,9	40,5	60,5	60,5	61,4	60,8
	Media			33,0	Media			41,2	Media			60,0
	Desviación			5,3	Desviación			3,7	Desviación			2,4

Fuente: Los autores.

Fotos tomadas de las vigas prefabricadas en su elaboración y colocación. Cortesía de la Empresa de Producciones Industriales de Ciego de Ávila, Cuba:

Los resultados de la resistencia a compresión del hormigón relacionados en la Tabla 6 expresan la validez de la dosificación realizada, pero no son suficientes para demostrar la durabilidad obtenida, para ello se realizaron pruebas de indicadores de durabilidad frente al medio de fuerte aerosol marino que estará sometida la estructura a construir. Se realizaron ensayos de porosidad del hormigón según el Manual de la RED DURAR(9) y determinación de la penetración del ion cloruro mediante la colocación de muestras en cámara de niebla salina, ambos resultados se observan en las tablas 7 y 8.

El promedio de los resultados en la Porosidad efectiva ,0.017 kg/m³ , reflejados en la Tabla 7 aseguran un hormigón durable ante ambiente de acción del ion cloruro como recomienda el Manual de la RED DURAR.

Se observa en la Tabla 8 que la penetración del ion cloruro a 10, 20, 30, 40 y 50 mm del borde exterior de las probetas, medido en porciento del peso total de la muestra. Son resultados menores a el 0,4 % máximo recomendado por el Manual de la RED DURAR (CyTED, 1997).

Tabla 7: Resultados del ensayos de Porosidad a los 56 días según el Manual Red Durar

N. Muestra	Coefficiente de Absorción capilar k (kg/m ² s ^{-½})	Porosidad Efectiva ϵ_e (kg/m ³)
1	435	0.019
2	470	0.012
3	361	0.015
4	336	0.018
5	240	0.021
6	201	0.015
Media	445	0.017
Desviación	15.9	0.003

Fuente: Los autores.

Tabla 8: Resultados de la penetración del ion cloruro según la ASTM C-1152-90 en porciento del peso total de la muestra que estuvo colocada en la cámara de niebla salina, del CENIC, La Habana, Cuba

Muestra	Profundidad en mm. medido desde la cara exterior				
	10	20	30	40	50
	(%) porciento en peso de cloruro según ASTM C-1152-90				
1	0.25	0.22	0.12	0.05	0.00
2	0.22	0.18	0.17	0.04	0.00
3	0.22	0.20	0.15	0.01	0.03
Media	0.23	0.20	0.15	0.03	0.01

Fuente: Los autores.

10 Consideraciones finales

Con la investigación realizada, ha quedado demostrado que es posible obtener de forma



correcta hormigones de elevado desempeño, con áridos calizos triturados, pudiéndose cumplir todas las exigencias del mundo actual, siempre que se emplee el método de dosificar adecuado.

Experiences in the use of high-performance concrete with calcareous in structures exposed to high marine aerosol

Referencias

AITCIN, P. C. Concreto de alto desempenho. São Paulo: Pini, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide to durable concrete: reported by ACI committee 201. ACI Materials Journal, v. 88, n. 5, p. 544-582, sept./oct. 1991.

ANDRADE, C.; GONZÁLEZ, J. A. Tendencias actuales en la investigación sobre corrosión de armaduras. Madrid, Revista Informes de la Construcción, v. 40, n. 398, p. 7-14, nov./dic. 1988.

ANDRADE, M. C. Manual de inspección de obras dañadas por corrosión, 1989.

ACI Committee 211. Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete. ACI Manual Of Concrete Practice. Farmington Hill, USA: ACI, part I, 1991.

ASTM C-1152-90: Standard test method for Acid-Soluble Chloride in mortar and concrete. Annual Book of ASTM, Section 4, v. 4.02, Concrete and Aggregates; PA, USA, 1995.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON. Durable concrete structures. Design guide. Lausanne: Thomas Telford, 1992.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON. Ceb-fip model code 1990. Design code. Bulletin d'Information, Lausana, CEB, p. 213-214, may 1993.

CyTED. Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. Red Iberoamericana XV. B. DURAR. abr. 1997.

MEHTA, K.; P. MONTEIRO, P. Concreto. Estructura, propiedades y materiales. México: IMCYC, 1998.

O'REILLY, V. Métodos para dosificar mezclas de hormigón. La Habana: Editorial Científico Técnica, 1990.

O'REILLY, V.; PÉREZ-GARCÍA, E. J. Dosificación de un hormigón duradero. Compat 95, La Habana, 1995.

NC 174.2002. Hormigón fresco. Medición del asentamiento por el cono de Abrams. ICS.91.100.10. Edición mar. 2002.

NC 221.2002. Hormigón Elaboración de las probetas para ensayos. ICS.91.100.30. Edición mar. 2002.

PÉREZ-GARCÍA E. J.; SEIGLIE G. I.; FERNÁNDEZ E. I. Evaluación de los puentes de hormigón armado del pedraplén Turiguanó – Cayo Coco como obra del patrimonio vial de la provincia de Ciego de Ávila, casos: puentes 4, 5 y 6, p.116. Tesis para la obtención del Grado de Master en Ciencias, Facultad de Arquitectura, La Habana, 2001.

Recebido em 18 mar. 2008 / aprovado em 19 nov. 2008

Para referenciar este texto

O'REILLY DÍAZ, V. A.; PÉREZ GARCÍA. Experiencias en el uso de hormigones de alto desempeño con áridos calizos, en estructuras sometidas a fuerte aerosol marino. *Exacta*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 189-196, jul./dez. 2008.