



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

cpc@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión
Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Nebarara, James; Frómeta-Salas, Zenaida Paulette; Vidaud-Quintana, Ingrid Noelia
COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD DE
HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA CON FIBRAS
Ciencia en su PC, núm. 1, enero-marzo, 2017, pp. 29-41
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181351125003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA CON FIBRAS

STRUCTURAL BEHAVIOR OF HIGH STRENGTH CONCRETE WITH FIBERS IN HIGH EARTHQUAKE ZONES

Autores:

James Nebarara, cpc@megacen.ciges.inf.cu¹

Zenaida Paulette Frómeta-Salas, paulette@uo.edu.cu¹

Ingrid Noelia Vidaud-Quintana, ingrid@uo.edu.cu¹

¹Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

La creciente utilización del hormigón de alta resistencia se debe a las ventajas que tiene cuando se compara con el hormigón convencional. Entre estas se destacan la elevada durabilidad y mayor resistencia a compresión, con posibilidad de reducir las dimensiones de los elementos estructurales. Sin embargo, algunas investigaciones apuntan que es un material con baja capacidad de deformación pospico, lo que provoca incertidumbres para su empleo en zonas sísmicas; ya que se considera que disminuye la ductilidad de las secciones, hecho que encuentra alternativa con la adición de fibras al material. Se estudió el comportamiento de hormigones de alta resistencia con fibras plásticas y de acero y se evaluó el incremento en la ductilidad del material a través de ensayos mecánicos destructivos: compresión, tracción y flexión; así como ensayos no destructivos: esclerómetro y ultrasónico, con la premisa de reducir la elevada congestión del refuerzo transversal que condiciona el confinamiento en regiones críticas del elemento para el diseño sismorresistente.

Palabras clave: hormigón de alta resistencia, fibras plásticas, fibras de acero, ductilidad.

ABSTRACT

The growing use of concretes of high resistance for their advantages compared with the conventional concrete that includes high durability, bigger resistance to compression with possibility of reducing the dimensions of the structural elements. However some investigations aim that it is a material with low capacity of deformation post-pick, what causes uncertainties for their employment in seismic areas, when considering that it diminishes the ductility of the sections; fact that he/she finds alternative with the use of fibers. The behavior of concretes of high resistance was studied with plastic fibers and of steel, evaluating the increment in the ductility of the material through destructive mechanical rehearsals: compression, traction and flexion, and non destructive rehearsals: esclerómetro and ultrasonic, with the premise of reducing the high congestion of the traverse reinforcement that conditions the confinement in critical regions of the element for the design sismorresistente.

Key words: *high strength concrete, post deformation capacity, ductility, critical region.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el hormigón de alta resistencia (resistencia a la compresión mayor de 50 MPa) tiene gran aceptación en la industria de la construcción, por lo que su desarrollo es gradual. Se destaca su alta resistencia a edades tempranas, dureza y mantenimiento de las propiedades mecánicas e integridad en ambientes severos; es decir, su durabilidad. Entre sus ventajas se ubican: mayor resistencia a la compresión, mayor módulo de elasticidad y menores gastos por la reducción de secciones transversales; por lo que constituye una alternativa para disminuir las dimensiones de los elementos en grandes estructuras, lo que pudiera evaluarse como una alternativa para reducir las fuerzas de inercia que provoca la acción sísmica.

Ventajas del hormigón de alta resistencia (HAR) en comparación al hormigón convencional (HC).

- Gran resistencia a compresión, menor deformación, menor fluencia y reducción de las secciones estructurales.
- Mayor resistencia a la corrosión y abrasión, por su menor porosidad.
- Misma capacidad portante en menor espesor. Se reducen las dimensiones requeridas de estructura y peso, por lo que se dispone de más espacio útil, lo cual representa un ahorro en áreas de construcción.
- Cuando se trate de un HARI, es posible un mayor rendimiento de la obra debido a una mayor rotación y menor tiempo de uso de los encofrados.
- Mejor resistencia a los ciclos hielo-deshielo.

A pesar de lo anterior, se evidencia que es un material con menor capacidad de deformación pospico si se compara con un hormigón convencional (Figura 1), lo que conduce a la baja tenacidad del material y la limitada ductilidad de los elementos que se construyen con este.

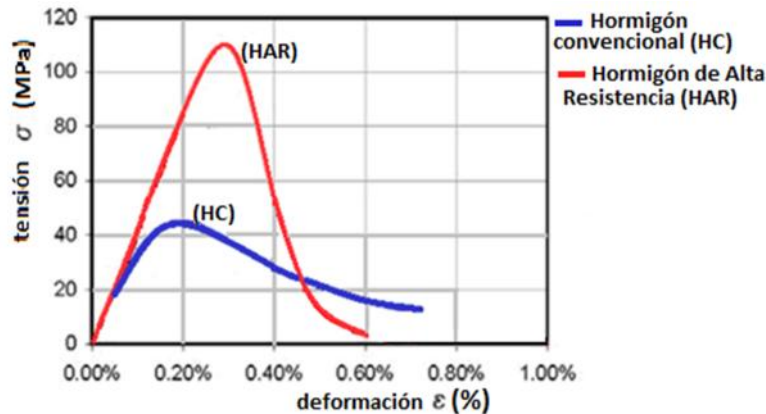


Figura 1. Gráfico tensión-deformación de hormigones de resistencia normal y alta.

El comportamiento frágil de los HAR puede llegar a ser un inconveniente, especialmente en zonas de alto riesgo sísmico; de ahí que exista determinado nivel de desconfianza para su utilización en columnas de edificios altos, contruidos en zonas de elevada actividad sísmica, ya que se le confiere baja capacidad para disipar la energía inducida por el sismo. Lo anterior trae como consecuencia el inadecuado desempeño de la estructura ante la posibilidad de ocurrencia de un sismo de gran intensidad.

Para corregir el efecto de la falta de ductilidad en pilares, y especialmente en las zonas críticas de estos, los códigos especifican unas cuantías mínimas de refuerzo transversal en esas zonas, basadas en criterios experimentales y de resistencia. Cuando se trata de pilares contruidos con hormigón tradicional estas cuantías de refuerzo aseguran una ductilidad suficiente en los mismos, pero estos criterios son de dudosa aplicación a la hora de proyectar pilares contruidos con hormigones de alta, en los cuales hay que tener en cuenta que para conseguir una buena resistencia frente a los sismos hay que tener estructuras que puedan disipar una gran cantidad de energía, especialmente mediante deformación inelástica, y el hormigón de alta resistencia carece de esta deformación.

Es la razón por la que normativas de diseño estructural como el código americano ACI 318, la norma neozelandesa (NZS: 3101) establecen requisitos especiales de armado, que persiguen un aumento de la ductilidad a través del elevado confinamiento del material; lo que tiende a aumentar el refuerzo transversal y a

lograr secciones fuertemente armadas y congestionadas, con limitaciones de índices tecnológicas y económicas.

El problema de la investigación se centra en las incertidumbres acerca del comportamiento de los hormigones de alta resistencia para su empleo en zonas sísmicas. Su objetivo fue evaluar el comportamiento mecánico de elementos de hormigón de alta resistencia adicionados con fibras plásticas y de acero, de forma analítica y experimental, para garantizar la necesaria ductilidad y el adecuado desempeño estructural en zonas de alta sismicidad. De este modo se diseñó un programa experimental que permite caracterizar las propiedades de resistencia y deformación del hormigón de alta resistencia con fibras añadidas, para, a partir de los ensayos físicos y mecánicos (destructivos y no destructivos), evaluar la idoneidad del uso de este material en estructuras de hormigón construidas en zonas sísmicas.

La utilización de las fibras en el interior de la matriz tiene como finalidad la formación de un hormigón compuesto en el que un material diferente al agregado está disperso en una matriz de pasta de cemento hidratada, con lo cual se crea un agente de refuerzo formado por un material fibroso de distinta naturaleza. Las fibras homogéneamente distribuidas dentro de la mezcla constituyen una microarmadura, la cual, por un lado, ha demostrado ser eficiente en la reducción de la fisuración por retracción y, por otro, confieren a la mezcla de hormigón una mayor ductilidad.

En este ámbito las fibras son una alternativa. Por este motivo en la investigación se adoptó el uso de fibras plásticas (MAPEFIBRE CN-54) y fibras de acero (DRAMIX® RC-65/35-BN), lo cual se refleja en su resistencia a flexotracción, resistencia a tracción, restricción de la fisuración y mejora de la capacidad de absorción de energía del material, que puede interpretarse como la resistencia del material a las acciones de impacto, tenacidad y fatiga.

Diversos autores consideran que las fibras plásticas y las de acero son las que mejores resultados muestran ante la capacidad de absorción de energía, han demostrado ser eficientes en la reducción de fenómenos de fisuración por retracción y, por otro lado, confieren a la mezcla de hormigón una mayor ductilidad

y resistencia al impacto, abrasión y esfuerzos dinámicos. La adición al hormigón de fibras plásticas y de acero de un tamaño y forma normalizados, en general, mejora su capacidad de protección a la fisuración, lo hace dúctil, incrementa su resistencia a la tensión y mejora de forma notable su durabilidad; por ello, demostradas estas cualidades, los hormigones reforzados con fibras plásticas y de acero se utilizan habitualmente en numerosos países.

Por otro lado, las fibras plásticas también confieren propiedades importantes: incrementan la absorción de energía y la resistencia a tracción, reducen las fisuras producidas por retracción en el proceso de fraguado, aumentan la resistencia al impacto y no afectan los procesos de corrosión y oxidación, a diferencia de los hormigones reforzados con acero.

Caracterización de los materiales

Se presenta la secuencia seguida en los ensayos a los materiales componentes de la mezcla y posteriormente el diseño de la dosificación. Al principio se realizaron los ensayos a los áridos, el cemento y las adiciones; lo cual se resume como la caracterización de los materiales utilizados para el hormigón. Luego se hace una descripción del método de dosificación elegido (O'Reilly, Pérez, 2008) y su proceder metodológico para el diseño de mezcla. Posteriormente se desarrollaron los ensayos realizados en estado fresco de hormigón y estado endurecido-ensayos no destructivos y destructivos.

Se utilizan áridos triturados procedentes de la cantera Los Guaos, Santiago de Cuba. Estos áridos fueron elegidos a partir de estudios realizados con anterioridad por varios investigadores, como Manzur (2015), y la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (2012). Se demostró su resistencia y limpieza, así como su bajo contenido de arcilla. Estos procesos son muy importantes si se quiere investigar con éxito el comportamiento de determinado hormigón. No puede olvidarse que el árido extraído de la cantera no suele tener las propiedades que se exigen en obra; entre estas la limpieza es esencial. Estos procesos son muy importantes si se quiere investigar con éxito el comportamiento del determinado

hormigón. Se utilizó cemento Portland P-350, adiciones (vidrio volcánico), aditivos (Dynamon SRC-20), fibras plásticas y de acero.

Dosificación y muestreo

Se hizo un estudio de varias dosificaciones: Método de la ACI, descrito en la ACI 211.1-97; luego se procedió a confeccionar la dosificación de prueba para el HAR por el método para dosificar mezclas de elevado desempeño de V. O' Reilly Díaz. Para llevar a cabo esta investigación se elaboraron 6 muestras de HC en probetas cilíndricas (HC1, HC2, HC3, HC4, HC5, HC6) y 3 muestras en probetas prismáticas (HC1, HC2, HC3). De esta forma se elaboran 9 muestras para el HAR (HAR1, HAR2, HAR3, HAR4, HAR5, HAR6) en probetas cilíndricas y 3 en prismáticas (HAR1, HAR2, HAR3). Del mismo modo fueron obtenidas las demás muestras de HARFP y HARFA.

MÉTODO

Se determinó la consistencia del hormigón en estado fresco, según lo establecido en las normas NC 222: 2008 y ACI 544.3R, 2008, que recomiendan para el ensayo de cono de Abrams que se realice la fabricación del HAR tradicionalmente, sin adicionarle fibras, y que el asiento en cono de Abrams sea entre 5-7,5 cm mayor que el cono final deseado. Se pudo tener los asentamientos que se muestran en la siguiente tabla, ya que las normas antes mencionadas especifican una relación agua-cemento menor que 4 y 4.5 respectivamente para los hormigones de alta resistencia. Luego se determinó los pesos específicos, el revenimiento y el contenido de aire.

Tabla 1. Resultados obtenidos de consistencia

Amasada	Asentamiento (cm)	Consistencia (NC)
HC	9	Plástica
HAR	6	Plástica
HARFP	3	Seca
HARFA	4	Seca

Todos los ensayos en estado endurecido fueron realizados a los 28 días, salvo el ensayo a compresión, cuyas probetas se ensayaron también a los 7 días. Se sometieron a ensayos destructivos y no destructivos las probetas de hormigón convencional (HC), hormigón de alta resistencia (HAR), hormigón de alta resistencia con fibras plásticas (HARFP) y hormigón de alta resistencia con fibras de acero (HARFA)

Ensayo de esclerometría

Este ensayo se realizó a probetas cilíndricas de 300 mm x 150 mm, lo cual cumple con los requisitos de la norma cubana NC 246:2006 para determinar la calidad del hormigón. Se efectuó para determinar su resistencia superficial, se evaluó la homogeneidad del hormigón a partir de la dureza superficial y los resultados de resistencia a compresión (a través del índice de rebote medio).

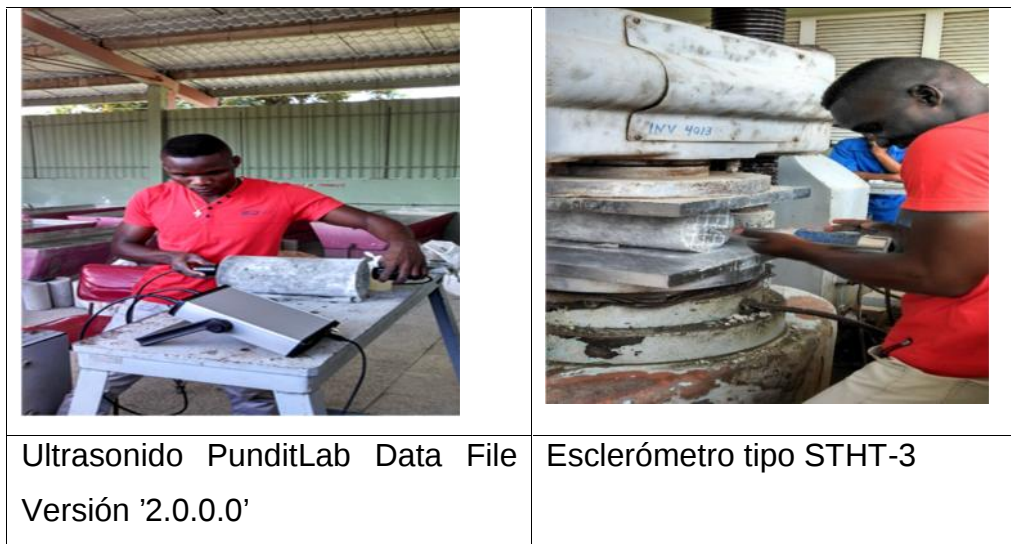


Figura 2. Ensayos ultrasónicos y esclerómetro

Ensayo del pulso ultrasónico

Se realizó el ensayo con un ultrasonido PunditLab Data File Versión 2.0.0.0 para determinar la uniformidad en el material y también la existencia y profundidad de fisuras y vacíos en el hormigón, y de esta forma poder medir su calidad. Se usa también, con un cierto éxito, para evaluar los daños producidos por el fuego en el hormigón. Los resultados evidencian que a mayor velocidad del pulso mayor

resistencia a compresión, se mostró correspondencia entre la homogeneidad y compacidad de la mezcla con respecto a la resistencia en HC y HAR.

Ensayos destructivos

Se realizaron ensayos de compresión, tracción y flexión a probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm, a los 7 y 28 días, y a probetas prismáticas de 450 mm x 150 mm x 150 mm para la flexión.

Ensayos a compresión axial

Para determinar la resistencia a compresión de las probetas cilíndricas, estas fueron sometidas a carga hasta poder alcanzar su respectiva tensión de rotura; la velocidad de aplicación de la carga fue 0,9 MPa/s, lo que cumple con lo estipulado en la norma NC 724 (2003) y ACI 318 (2011). Para el desarrollo del mismo se empleó una prensa marca TTC/250 URRS con un intervalo de medición de 200 kgf a 100000 kgf.

Ensayos de resistencia a tracción indirecta “ensayo brasileño”

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar en forma indirecta la resistencia a tracción uniaxial del hormigón. Se utilizaron probetas cilíndricas, con una longitud de 300 mm y un ancho de 150 mm, que cumplen con los requisitos de la norma NC 724:2009. Consiste en aplicar una carga externa de compresión en una de las caras de la muestra cilíndrica o cúbica, mientras que el extremo opuesto a la carga permanece apoyado, lo cual provoca una distribución uniforme de tracciones transversales a lo largo del eje de carga y causa la rotura a tracción de la muestra.



Figura 3. Ensayo brasileño y las diferentes formas de rotura

RESULTADOS

Tabla 2. Valores de tracción indirecta obtenidos en la investigación

Amasada	Serie	Peso (kg)	Diametro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Tensión (Kgf)	Carga de rotura (KN)	Resistencia a tracción (MPa)	Promedio (Mpa)	Desviación estandar (Mpa)	Coficiente de variación (Mpa)
HC	1	12,61	15,01	30,11	176,95	9210	210,9	2,93	3,03	0,12	0,040
	2	12,53	15,02	30,08	177,19	10050	230,1	3,20			
	3	12,45	15,00	29,91	176,71	9200	210,6	2,95			
HAR	1	12,81	15,01	30,11	176,95	10551	241,6	3,36	3,55	0,20	0,055
	2	12,71	15,02	30,08	177,19	10860	248,6	3,46			
	3	12,76	15,00	29,91	176,71	11900	272,4	3,82			
HARFP	1	12,00	15,01	30,11	176,95	12992	297,4	4,14	4,05	0,18	0,044
	2	12,03	15,02	30,08	177,19	11910	272,7	3,80			
	3	12,08	15,00	29,91	176,71	13090	299,7	4,20			
HARFA	1	12,43	15,01	30,11	176,95	12900	295,3	4,11	4,14	0,02	0,005
	2	12,45	15,02	30,08	177,19	13050	298,8	4,16			
	3	12,40	15,00	29,91	176,71	12890	295,1	4,14			

La siguiente tabla muestra los resultados de la comparación de los valores obtenidos en los ensayos a tracción a partir de diferentes estimaciones de varias normas de diferentes países para estimar valores de tracción a través de valores de resistencias a compresión.

Tabla 3. Comparación de resultados de tracción indirecta

Serie	R _{ct} real (MPa)	NTC C2004	EC-2 2002	ACI 318- 2011	ACI 363R 2010	NZS 3101 2006	EHE 2008	CAN 3 A23.4
HC	3,03	2,71	3,09	3,22	3,40	2,07	3,09	2,30
HAR	3,55	3,91	3,98	4,13	4,35	2,65	4,28	2,95
HARFP	4,05	3,97	4,01	4,19	4,42	2,70	4,34	2,99
HARFA	4,14	3,99	4,02	4,22	4,44	2,71	4,37	3,01

Los valores marcados en amarillo no son confiables, según nuestro ensayo; solamente son confiables los que no se encuentran marcados.

Ensayo a flexión

En el proceso de este ensayo se emplearon cargas a los tercios. Para su realización se utilizaron probetas prismáticas, con una longitud de 450 mm y un canto de 150 mm por 150 mm, con lo cual se cumplen los requisitos de las normas NC 724:2009, ASTM C-78-94 y UNE 83509:2004. La presente norma NC 724:2009 indica que si la rotura se produce por fuera del tercio central el ensayo se considera insatisfactorio o nulo; en este caso la rotura en todas las probetas se produjo dentro del tercio medio que da validez al ensayo.

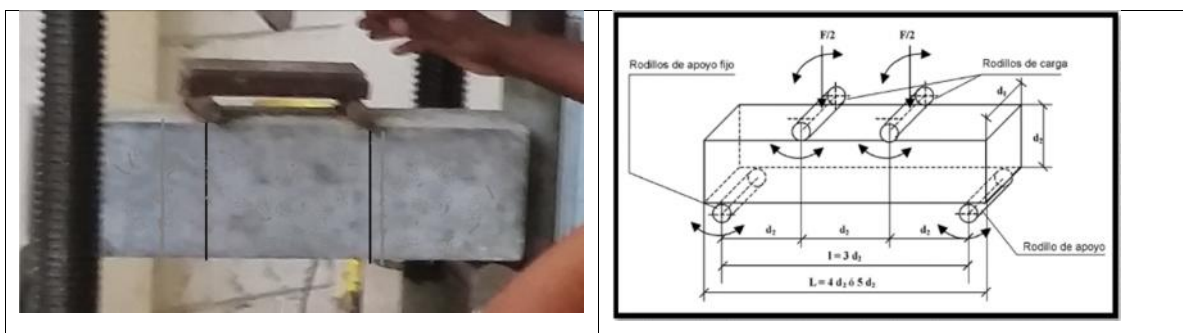


Fig 4. Probeta prismática para el ensayo a flexión

Se presenta la siguiente tabla con los resultados obtenidos en los ensayos de flexión.

Tabla 4. Resultados obtenidos en el ensayo a flexotracción

Amasada	Serie	Canto (mm)	Longitud (mm)	Carga de rotura (N)	Res. a flexión (MPa)	Promedio (Mpa)	Desv. estándar	Coef. de variación
HC	1	150	450	34000	4,53			
	2	150	450	33000	4,40	4,53	0,11	0,024
	3	150	450	35000	4,67			
HAR	1	150	450	33500	4,47			
	2	150	450	32500	4,33	4,51	0,16	0,036
	3	150	450	35400	4,72			
HARFP	1	150	450	44000	5,87			
	2	150	450	41000	5,47	5,64	0,17	0,029
	3	150	450	42000	5,60			
HARFA	1	150	450	46500	6,20			
	2	150	450	44000	5,87	5,89	0,25	0,042
	3	150	450	42000	5,60			

Se puede observar, a partir de los datos obtenidos en esta tabla, que existe una significativa variación de los valores de flexión, que van aumentando a medida que se añaden fibras en las amasadas; en otras palabras: existe una mayor flexión en amasadas añadidas con fibras.

CONCLUSIONES

Los áridos de Los Guaos, Santiago de Cuba, cumplen con la norma; por lo tanto, se ha podido alcanzar un HAR de más de 50MPa.

Se destaca que la resistencia a compresión apenas aumenta entre un HAR y HARFP, lo cual demuestra que las fibras no necesariamente aumentan la

resistencia a compresión, sino la tracción y flexotracción, mediante la coacción de fisuras internas para de esa forma aumentar la ductilidad.

Los ensayos a tracción indirecta y flexión demuestran que la rotura en los HAR es una explosión, señal de que son muy frágiles; mientras que en los HARFP y HARFA las fisuras aparecen, pero las probetas no se separan mientras la carga se sigue aplicando. La rotura a flexión es dúctil, lo que demuestra un gran aporte de las fibras en el comportamiento de los HAR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 211.1-11 *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete Reapproved*. EE UU.

ACI 211.4R-08 *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials*. EE UU.

ACI 363R – 10. (2010). *Report on High-Strength Concrete*. Committee 363. EE UU.

O'Reilly, V. A. y Pérez, E. J. (2008). *Experiencias en el uso de hormigones de alto desempeño con áridos calizos en estructuras sometidas a fuerte aerosol marino*. Ciego de Ávila, Cuba.

Recibido: junio de 2016

Aprobado: diciembre de 2016