

ACI

Revista Técnica No. **26** • 2013

Publicaciones Técnicas

ISSN No. 20111592

**Durabilidad de concretos
con cementantes
híbridos incluyendo
 Na_2SO_4 como activador**

**Entendiendo los
principios de las
barreras corta-vientos**

**Propiedades mecánicas
y de durabilidad de
concretos con agregado
reciclado**

Informaciones Técnicas del Instituto Americano del Concreto Seccional Colombiana
PUBLICACIÓN CUATRIMESTRAL



Socios benefactores



Publicación patrocinada por:



American Concrete Institute
Seccional Colombiana



American Concrete Institute
Seccional Colombiana

Junta Directiva

Presidente

Pedro Nel Quiroga S.
pedronelquiroya@yahoo.com

Vicepresidente

Carlos E. Palomino A.
carpalomino@hotmail.com

Ex Presidente Activo

Jorge Ignacio Segura F.
jiseguraf@unal.edu.co

Secretario – Tesorero

Juliana González A.
jgonzalez@moffatnichol.com

Vocales

Eduardo Castell R.
ecastell@moffatnichol.com

José Gabriel Gómez C.
jggomez@unal.edu.co

Nancy Torres C.
nancy.torres@escuelaing.edu.co

Germán Hermida B.
hermida.german@gmail.com

Jairo Uribe E.
jairo.uribe@escuelaing.edu.co

Ismael Santana S.
isantanas@unal.edu.co

Representante de los Socios

David Andrés Jaramillo J.
djaramillo@argos.com.co

Suplente del Representante de los Socios

Julián Carrillo L.
wjcarrillo@gmail.com

Editor Revistas Técnicas

Ismael Santana S.
isantanas@unal.edu.co

Comité Editorial Revistas Técnicas

Eduardo Castell R.
Juan Manuel Lizarazo M.
Pedro Nel Quiroga S.
Jorge Ignacio Segura F.
Jairo Uribe E.
Ismael Santana S.

American Concrete Institute - Seccional Colombiana

Carrera 19A - No. 84-14 Of. 502, Bogotá D.C.
PBX: (1) 6916125 • FAX: (1) 5300827
aci.colombia@gmail.com
www.acicolombia.org.co

Certificación Instaladores de Anclajes

En julio de 2006 algunos paneles del cielorraso de uno de los túneles del "Big Dig" en Boston, cayeron sobre un automóvil causando la muerte a una persona y heridas al conductor. Los paneles de concreto estaban soportados mediante anclajes adhesivos a la parte superior del túnel, algunos de los cuales fallaron después de 6 años. Como resultado de la investigación se encontró que hubo fallas en la instalación de los anclajes y que se utilizó equivocadamente un epóxico que no estaba formulado para soportar las cargas permanentes relativamente altas debidas al peso de los paneles y a las diferencias de presión a lado y lado de los paneles.

Este accidente motivó al ACI y al CRSI (Concrete Reinforcing Steel Institute) a desarrollar la Certificación para Instaladores de Anclajes Adhesivos, considerando que los anclajes adhesivos son muy sensibles a las condiciones y procedimiento de instalación.

Investigaciones han demostrado que factores como la temperatura del concreto y del ambiente, tipo de broca usada para la perforación, grado de limpieza de la perforación, tipo de adhesivo y calidad del llenado del agujero con adhesivo, entre otros, tienen un efecto muy importante en la resistencia a corto y largo plazo de los anclajes adhesivos. En algunos sistemas de anclaje una inadecuada limpieza del agujero puede dar lugar a resistencias

del orden del 40 % de la resistencia esperada. El uso de adhesivos que han expirado o que no han sido mezclados en forma apropiada (estos sistemas usualmente vienen en cartuchos de dos componentes que se deben mezclar en las proporciones indicadas por el fabricante) puede dar como resultado resistencias del 20 % o menos de la resistencia esperada. El uso de adhesivos no diseñados para las condiciones dadas de una obra, por ejemplo humedad, posiciones sobre cabeza, cargas sostenidas, también pueden dar lugar a resistencias muy bajas o fallas a largo plazo como la del túnel de Boston. Finalmente si el llenado de la perforación no se hace en forma correcta, quedará un gran volumen de vacíos que también afectará la capacidad del anclaje.

El propósito de la Certificación es asegurar que las personas que instalan anclajes adhesivos conozcan los efectos de no seguir las instrucciones del fabricante y de las condiciones de obra en la resistencia de dichos anclajes, y que tengan la habilidad de instalar anclajes adhesivos correctamente dentro del tiempo límite.

El programa se inició recientemente en Estados Unidos y se está implementando en otros países bajo la supervisión directa del ACI internacional. El propósito de la Seccional Colombiana del ACI es montar la certificación en 2014.

Durabilidad de concretos con cementantes híbridos incluyendo Na_2SO_4 como activador

D. F. Velandia^{1,2}, C. J. Lynsdale¹, J. L. Provis³, F. Ramirez⁴, D. A. Jaramillo², E. Arteta², A.C. Gomez²

¹Dept. of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, UK,

²Argos, Colombia,

³Dept. of Materials Science and Engineering, University of Sheffield, UK

⁴Dept. of Civil and Environmental Engineering, Universidad de los Andes, Colombia

Además de los beneficios ambientales que pueden tener las mezclas con cementantes híbridos incluyendo cemento y ceniza en altas proporciones (50%) con Na_2SO_4 al 1% del cementante, se tiene un alto impacto en términos de durabilidad y vida útil. Desde el punto de vista de resistencia se evidencia su beneficio en las resistencias superiores a los 28 días y considerando la necesidad de resistencias elevadas iniciales, se pueden realizar ajustes en la relación agua material cementante. En términos de durabilidad su efecto en la reducción en la permeabilidad al agua y al coeficiente de difusión respecto a las mezclas patrón (100% OPC (cemento portland), 80% OPC-20% FA) es significativo. Respecto a la profundidad de carbonatación, esta se incrementa, siendo necesario considerar los posibles ajustes en términos de relación agua material cementante e incremento de resistencia. Por otro lado, las expansiones generadas por reacciones álcali agregado y por ataque de sulfatos son menores siendo una alternativa de mitigación ante las reacciones químicas que se generan. De esta forma los concretos con este sistema cementante y activador son una posible alternativa por su disminución de CO_2 y por su efecto en términos de incremento de vida útil.

Palabras claves: Cementos híbridos, sulfato de sodio, permeabilidad al agua, coeficiente de difusión

Introducción

El incremento de las emisiones de CO_2 por parte de diferentes industrias es un hecho. Por ejemplo en el 2012, the PBL Netherlands Environmental Assessment Agency publicó que 24 billones de toneladas de CO_2 fueron emitidas en el 2011 con un incremento del 3% [1]. Considerando estas cifras, además de reportes adicionales que muestran el impacto de las emisiones y el calentamiento global, se deben contemplar alternativas en la industria cementera y concretera que permitan reducir este impacto; una de las alternativas es el uso de materiales cementantes suplementarios y geopolímeros [2-6]. Sin embargo, estos materiales requieren un estudio significativo desde el punto de vista de la durabilidad. De esta forma es importante estudiar los impactos que tiene esta alternativa en términos de permeabilidad al agua, penetración cloruros, coeficiente de difusión, sortividad y ataques químicos que afectan la matriz como la reacción álcali agregado y el ataque por sulfatos.

Diferentes trabajos sobre la durabilidad se han realizado para la evaluación de mezclas con altos contenidos de ceniza. Por ejemplo, en términos de absorción, Van den Heede exploró mezclas con el 50%, logrando absorciones menores respecto a mezclas con 100% OPC. Sin embargo se presentó un incremento en este parámetro al superar este nivel de ceniza [7]. Por otro lado, el incremento del volumen de pasta tam-

bién ha sido estudiado en términos de absorción, aumentando este nivel con el incremento de pasta [4]. Respecto a mezclas con activadores, Provis realizó microtomografías, analizando la microestructura y las conexiones entre poros en mezclas con escoria y ceniza. En este estudio el gel N-A-S(H) tiene una menor obstrucción en la conexión de poros debido a que este gel no vincula químicamente agua [8]. En este tipo de mezclas, que tienen escoria y ceniza, la inclusión de ceniza presenta un leve incremento en el volumen de poros, pasando del 17% al 19% [9].

En términos de permeabilidad al agua, la relación agua material cementante y la gradación del agregado tiene un efecto desde mezclas con 100% OPC hasta geopolímeros [10]. En términos de mezclas de ceniza y escoria con activadores, la permeabilidad y la absorción puede verse afectada por un pretratamiento de secado aplicado a las muestras [11].

En términos de difusión de cloruros, después de 90 días se evidencia un beneficio en mezclas con sustituciones parciales de cementantes suplementarios [12], [13]. Este efecto se presenta no solo para mezclas con ceniza volante sino también con escoria y metacaolín [14], [15], [16]. Para mezclas con ceniza volante en altas proporciones se requiere un buen curado, además de un buen nivel de finura, para lograr disminuir

la penetración de cloruros [17]. El incremento de ceniza volante entre el 30% - 50% en términos de difusión de cloruros requiere un buen periodo de curado en agua, siendo evidente su mejora respecto a mezclas con 100% OPC solo hasta después de 90 y 365 días de evaluación [18]. En mezclas con alto contenido de ceniza, su mejora en el comportamiento reológico también puede presentar un beneficio significativo; en mezclas autocompactantes el comportamiento se mejora entre 2 a 8 veces en términos de penetración cloruros [19]. Respecto a geopolímeros, estos pueden presentar un mejor comportamiento en términos de reducción de cloruros respecto a mezclas con 100% OPC, dependiendo del curado [20], [21], [22].

El efecto de carbonatación en mezclas con altos contenidos de ceniza, tanto en mezclas curadas en aire como curadas en agua genera resultados similares. Un rango de humedad relativa óptima para que la carbonatación se presente en valores altos es del 50% al 70% [23], [24]. El efecto de la falta port-

landita es evidente en mezclas con alto contenido de cenizas en donde la carbonatación se incrementa [25], [26]. Respecto a geopolímeros, estas mezclas presentan una disminución respecto a mezclas con 100% ceniza cuando se utilizan sistemas con escoria y ceniza [27].

Considerando los anteriores estudios, la necesidad de evaluar los parámetros de durabilidad es evidente en mezclas que manejan contenidos de ceniza y cemento con Na_2SO_4 .

Materiales y métodos

Los ensayos desarrollados en la mayoría de los casos siguen los procedimientos especificados por la ASTM. La Tabla 1 incluye las normas que se siguieron en el proceso. Es importante mencionar nombre y número que para la evaluación de permeabilidad al agua se usó una norma Colombiana y para la evaluación del coeficiente de difusión el procedimiento Nord-test especificado en la tabla.

EVALUACIONES	MÉTODO UTILIZADO	
Permeabilidad al agua	Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua	NTC 4483
Penetración cloruros	Standard test method for electrical indication of concrete ability to resist chloride ion penetration	ASTM 1202
Coeficiente de difusión cloruros	Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments	NT BUILD 492
Sulfato	Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution	ASTM 1012
Reacción álcali agregado	Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-bar method)	ASTM 1260
Carbonatación	Ensayo con indicador de fenolftaleína para evaluar carbonatación en concreto	-

Tabla 1 Métodos de evaluación

Respecto a los diseños evaluados, estos consideran tres niveles de relación agua material cementante, diferentes niveles de sustitución con ceniza tipo F y Na_2SO_4 dentro del sistema que incluye activador. Esto se visualiza en la Tabla 3.

CEMENTANTE	COMPONENTES								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	LOI	Na_2O	CaO	K_2O	MgO
Ceniza	56.67	20.65	4.92	0.06	10.74	0.07	3.27	1.59	0.62
Cemento	21.53	4.73	3.56	1.91	1.4	0.06	65.82	0.57	0.9

Tabla 2 a) Características químicas del cemento y la ceniza, b) Características físicas de la ceniza

CEMENTANTE	Características físicas (%)		
	Índice de actividad %		Densidad (g/cm^3)
	7	28	
Ceniza	70.2	71.6	2.093

Tabla 2 b)

α/mc	0.554				0.482				0.427			
FA (%)	0%	20%	50%	50%	0%	20%	50%	50%	0%	20%	50%	50%
Sulfato de sodio				1%			1%					1%

Tabla 3 Variables evaluadas

Resultados y discusión

Como se visualiza en la Figura 1, el uso de Na_2SO_4 con un alto contenido de ceniza produce un efecto favorable en la resistencia. En la siguiente gráfica se presenta este efecto haciendo la curva de relación agua material cementante a 28 días. Aunque como se mencionó anteriormente, el efecto de la ceniza se puede visualizar significativamente a edades superiores de los 90 días, es importante ver el posible ajuste en a/mc para lograr el mismo nivel de resistencia a 28 días.

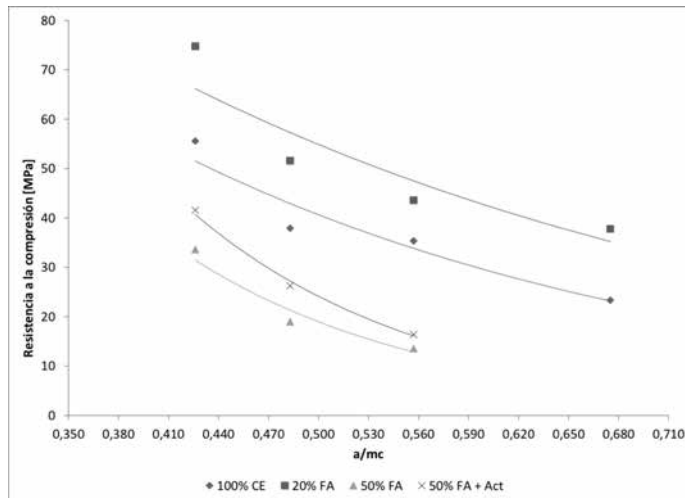


Figura 1 Curva de relación agua material cementante vs resistencia para 100% cemento, 80% cemento + 20% FA, 50% cemento + 50% FA y 50% cemento + 50% FA + Na_2SO_4

Para poder comparar y normalizar los resultados obtenidos en términos de durabilidad, los resultados de durabilidad se correlacionaron con los resultados de evolución de resistencia en donde se encontraron tendencias respecto a la variación de los niveles de material cementante. Así mismo de esta forma se pueden comparar bajo una misma resistencia la influencia de los diferentes cementantes sobre los diferentes parámetros de durabilidad.

Permeabilidad al agua

Al comparar las muestras en términos de una misma resistencia se evidencia un impacto en la disminución de los niveles de penetración al agua, lo cual es evidente en la Figura 2. En este caso la microestructura de las mezclas con ceniza volante es menos permeable debido a la reducción del nivel de portlandita. Por ejemplo 20 mm de penetración de agua se pueden lograr para una resistencia de 60 MPa con 100% cemento y de 40 MPa para una mezcla con 50% ceniza volante y sulfato de sodio. El nivel de permeabilidad al agua se podría reducir incrementando la resistencia y manteniendo el tipo de cementante. En el caso en que se mantengan constantes las relaciones agua material cementante el desempeño puede llegar a ser mejor para mezclas con Na_2SO_4 . Es importante mencionar que aunque existe una dispersión en los resultados las tendencias son claras para evidenciar la relación de la resistencia con el parámetro de durabilidad y la influencia de los materiales cementantes y el activador utilizado.

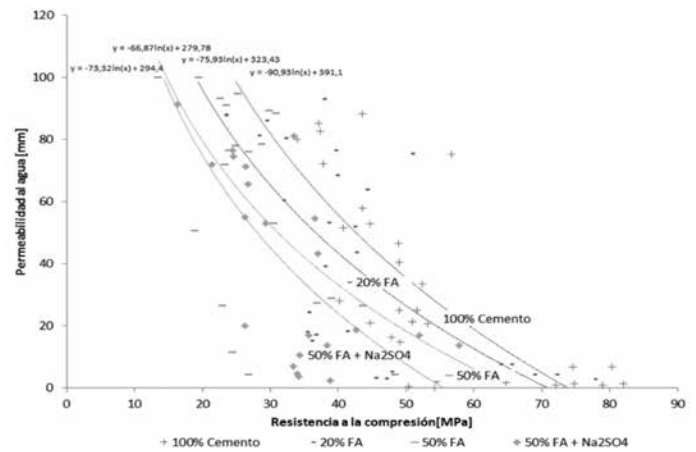


Figura 2 Permeabilidad al agua vs Resistencia a la compresión para 100% cemento, 80% cemento + 20% FA, 50% cemento + 50% FA y 50% cemento + 50% FA + Na_2SO_4

Penetración cloruros

En términos generales, en este caso, como sucede con el parámetro de penetración al agua y la resistencia a la compresión, el mismo valor de penetración cloruros puede obtenerse para diferentes resistencias dependiendo del nivel de sustitución y el hecho de incluir sulfato de sodio. Por ejemplo para lograr llegar al rango "muy bajo" que especifica la ASTM C 1202, se necesitaría una resistencia cercana a los 60 MPa con 100% cemento o 30 MPa con 50% FA + Na_2SO_4 . Lo anterior se visualiza en la Figura 3. Aunque las tendencias son evidentes, la dispersión que se visualiza en los datos se debe a las variables introducidas en la evaluación como el curado.

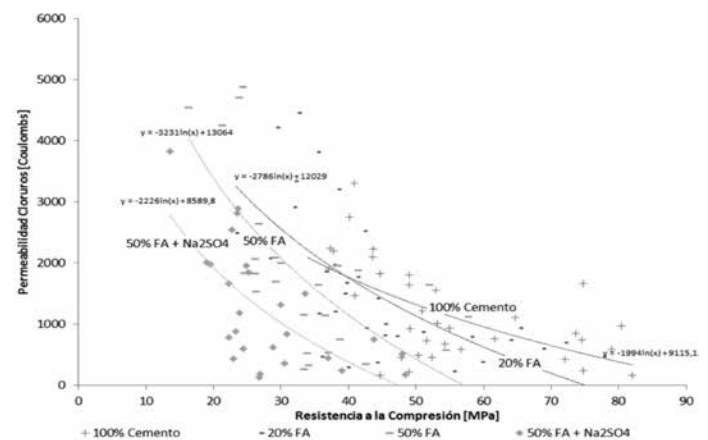


Figura 3 Permeabilidad cloruros vs resistencia a la compresión para 100% cemento, 80% cemento + 20% FA, 50% cemento + 50% FA y 50% cemento + 50% FA + Na_2SO_4

Coefficiente de difusión de cloruros

En el caso del coeficiente de difusión como se observa en la Figura 4, este presenta las mismas tendencias evidenciadas anteriormente, en donde para una misma resistencia pero incrementando el nivel de porcentaje de ceniza e incluyendo el sulfato de sodio se logran mejoras en el desempeño, en este caso una reducción en el coeficiente de difusión. Por ejemplo, un valor de coeficiente de difusión de $5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ para una mezcla con 100% cemento es lograda con una resistencia de 65 MPa mientras que con un 50% de FA y sulfato de sodio una de 50 MPa.

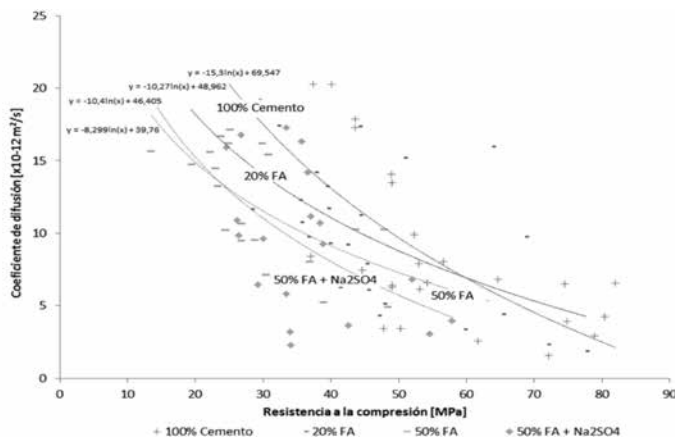


Figura 4 Coeficiente de difusión vs resistencia a la compresión para 100% cemento, 80% cemento + 20% FA, 50% cemento + 50% FA y 50% cemento + 50% FA + Na₂SO₄

Coeficiente de carbonatación

El coeficiente de difusión es la velocidad con la que el elemento se carbonata. En este caso, las profundidades de carbonatación en diferentes tiempos, visualizados por medio del coeficiente de difusión, fueron los puntos de comparación entre los diferentes porcentajes de sustitución. De esta forma, con un comportamiento totalmente contrario respecto a lo que se obtuvo en los diferentes ensayos, el incremento de ceniza con una misma resistencia incrementa el coeficiente de carbonatación, lo cual se observa en la Figura 5. En este caso, el incremento de resistencia se debe realizar para mezclas con alto contenido de ceniza para mantener los mismos niveles de carbonatación respecto a mezclas con el 100% cemento. La reducción en los niveles de portlandita afecta este comportamiento significativamente en las mezclas con alto contenido de ceniza. De esta forma es importante caracterizar las curvas de coeficiente de carbonatación para identificar una resistencia objetivo. Por ejemplo, un incremento de 5 MPa es necesario para obtener un mismo coeficiente de carbonatación respecto a las mezclas con 20% de ceniza volante; de esta forma es necesario disminuir la relación agua material cementante 0.13.

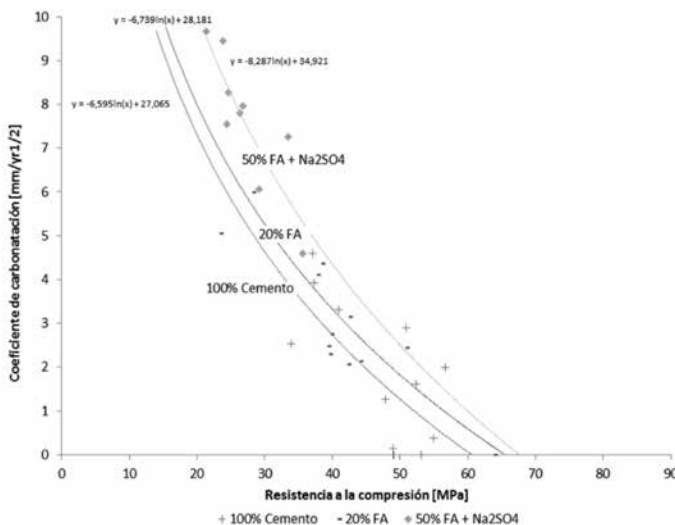


Figura 5 Coeficiente de carbonatación vs resistencia a la compresión para 100% cemento, 80% cemento + 20% FA y 50% cemento + 50% FA + Na₂SO₄

Reacción álcali agregado y expansión por sulfatos

En términos de reacción álcali agregado el efecto es ampliamente favorable como se evidencia en la Figura 6 a). Las mezclas con el 50% de ceniza volante presentan expansiones menores a 0.1% a los 16 días. Así mismo, después de 30 días la expansión permaneció menor a 0.1%. Respecto a la mezcla con el 20% de ceniza, aunque a los 16 días logra estar por debajo de 0.1%, a los 30 días presenta un incremento significativo respecto a las mezclas con el 50% de ceniza.

En términos de expansión por sulfatos, las mezclas con el 50% tienen una tendencia a una menor expansión respecto a las mezcla con el 20% FA y el 100% cemento. Este efecto es debido al contenido de C₃A total en la mezcla. La Figura 6 b) muestra como la mezcla con activador presenta la menor expansión.

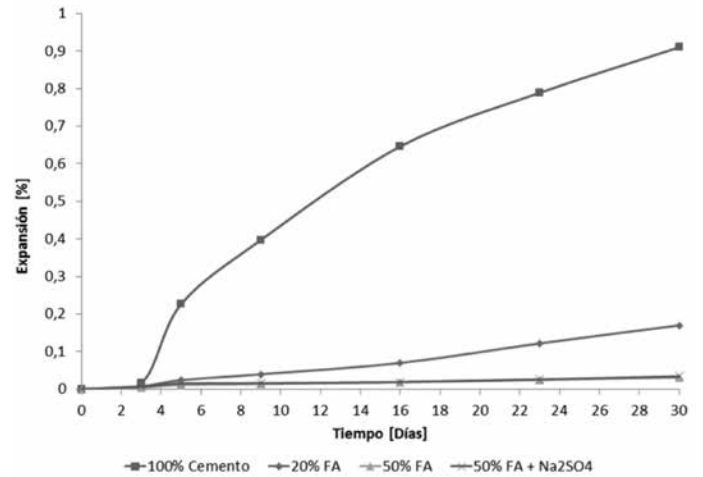


Figura 6 Expansión de morteros:
a) Reacción álcali agregado

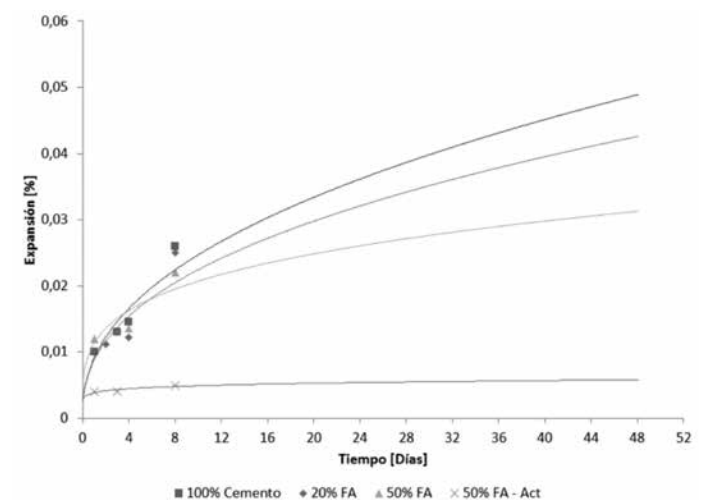


Figura 6 Expansión de morteros:
b) Expansión por sulfatos

Conclusiones

El incremento de ceniza volante y la inclusión de Na_2SO_4 mejora el desempeño de los concretos estudiados en términos de permeabilidad al agua, penetración cloruros, coeficiente de difusión de cloruros y expansión por reacción álcali agregado y sulfatos. Por otro lado, en términos de carbonatación, se presenta un incremento en el coeficiente o profundidad de carbonatación para las mezclas con el 50% de ceniza. Sin embargo, al realizar un incremento en resistencia se puede lograr los mismos niveles de carbonatación respecto a las mezclas control con el 20% FA y 100% cemento. En este último caso es necesario modificar la relación agua/material cementante para lograr las resistencias.

En la mayoría de los casos, manteniendo el mismo nivel de resistencia e incrementando el nivel de sustitución, se logran mejores desempeños. Así mismo al incrementar la resistencia en todos los parámetros de durabilidad estudiados, se logra mejorar el desempeño del concreto. Es importante mencionar que, aunque existe variabilidad en los resultados, las tendencias son claras respecto a la relación que existe entre las resistencias y los parámetros de durabilidad evaluados.

La inclusión de activadores en mezclas con altos contenidos de ceniza se presenta no sólo como una alternativa válida para reducir emisiones de CO_2 sino también para incrementar la vida útil de las estructuras.

Referencias

Jos G., Greet J. M., Jeroen A.H.W., 2012. Trends in global CO_2 emissions; 2012 Report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. The Hague/Bilthoven, PBL publication number: 500114022.

Yang K. H., Song J. K., Song K., I., 2013. Assessment of CO_2 reduction of alkali-activated concrete. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 39, pp. 265-272.

Malhotra V. M., Mehta P. K., 2002. High-performance, high-volume fly ash concrete. *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development*, Inc., Ottawa, Canada, pp. 101.

Dinakar P., Babu K., Santhanam M., 2008. Durability properties of high volume fly ash self compacting concretes. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 30, pp. 880-886.

Duran A., 2002. Heat evolution of high volume fly ash concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 751-756.

Duran C., 2005. Strength properties of high volume fly ash roller compacted and workable concrete, and influence of curing condition. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, pp. 1112-1121.

Van den Heede P., Gruyaert E., De Belie N., 2010. Transport properties of high-volume fly ash concrete: Capillary water sorption under vacuum and gas permeability. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 32, pp. 749-756.

Provis J. L., Myers R. J., White C. E., Rose V., Van Deventer J. S. J., 2012. X-ray microtomography shows pore structure and tortuosity in alkali-activated binders. *Cement and Concrete Research*. Vol. 42, pp. 855-864.

Aydin S., 2013. A ternary optimization of mineral additives of alkali activated cement mortars. *Construction Building Materials*. Vol. 43, pp. 131-138.

Olivia M., Sarker P., Nikraz H., 2008. Water penetrability of low calcium fly ash geopolymer concrete. *International Conference on Construction and Building Technology*, Kuala Lumpur.

Ismail I., Bernal S., Provis J., Hamdan S., van Deventer J., 2013.

Drying-induced changes in the structure of activated pastes. Journal of Material Science, Vol. 48, pp. 3566-3577.

Ait-Mokhtar A., Belarbi R., Benboudjema F., Burlion N., Capra B., Carcassès M., Colliat J. B., Cussigh F., Deby F., Jacquemot F., de Larrard T., Lataste J. F., Le Bescop P., Pierre M., Poyet S., Rougeau P., Rougelot T., Sellier A., Séménadis J., Torrenti J. M., Trabelsi A., Turcry P., Yanez-Godoy H., 2013. Experimental investigation of the variability of concrete durability properties. *Cement and Concrete Research*. Vol. 45, pp. 21-36.

Deby F., Carcassès M., Sellier A., 2009. Simplified models for the engineering of concrete formulations in a marine environment through a probabilistic method. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. Vol. 16, pp. 362-374.

Mejia R., Delvasto S., Gutierrez C., Talero R., 2003. Chloride diffusion measured by modified permeability test in normal and blended cements. *Advances in Cement Research*. Vol. 15, pp. 113-118.

Thomas MDA., Bamforth PB., 1999. Modelling chloride diffusion in concrete: effect of fly ash and slag. *Cement and Concrete Research*. Vol. 29, pp. 487-495.

Boddy A., Hooton RD., Gruber KA., 1999. Long-term testing of chloride – penetration resistance of concrete containing high-reactive metakaolin. *Cement and Concrete Research*. Vol. 31, pp. 759-765.

Özbay E., Karahan O., Lachemi M., Hossain K. M. A., Duran C., 2012. Investigation of properties of engineered cementitious composites incorporating high volumes of fly ash and metakaolin. *ACI Materials Journal*, Vol. 109-M55, pp. 565-571.

Burden D., 2006. The durability of concrete containing high levels of fly ash. Thesis (MSc). University of New Brunswick.

Dinakar P., Babu K., Santhanam M., 2008. Durability properties of high volume fly ash self compacting concretes. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 30, pp. 880-886.

Roy D., Jiang W., Silsbee MR., 2000. Chloride diffusion in ordinary blended, and alkali-activated cement pastes and its relation to other properties. *Cement and Concrete Research*. Vol. 30, pp. 1879-1884.

Rashad A., 2013. A comprehensive overview about the influence of different additives on the properties of alkali-activated slag – A guide for Civil Engineer. *Construction and Building Materials*. Vol. 47, pp. 29-55.

Ismail I., Bernal S., Provis J., San Nicolas R., Brice D., Kilcullen A., Hamdan S., Van Deventer J., 2013. Influence of fly ash on the water and chloride permeability of alkali-activated slag mortars and concretes. *Construction and Building Materials*, Vol. 48, pp. 1187-1201.

Wierig H., 1984. Long time studies on the carbonation of concrete under normal outdoor exposure. RILEM Seminar, Hanover, Germany, pp. 239-249.

Saeki T., Ogha H., Nagataki S., 1991. Mechanism of carbonation and prediction of carbonation process of concrete. *Concrete Library of JSCE*. Vol. 12, pp. 23-36.

Younsi, A., Turcry P., Roziere E., Ait-Mokhtar A., Loukili A., 2011. Performance-based design and carbonation of concrete with high fly ash content. *Cement and concrete Composites*, Vol. 33, pp. 993-1000

Papadakis V. G., Vayenas C. G., Fardis M.N., 1989. A reaction engineering approach to the problem of concrete carbonation. *American Institute of Chemical Engineers*. Vol. 35, pp. 1639-1650.

Nasvi M., Ranjith P., Sanjayan J., 2013. Effect of different mix compositions on apparent carbon dioxide (CO_2) permeability of geopolymer: Suitability as well cement for CO_2 sequestration wells. *Applied Energy*. Article in press.

Entendiendo los principios de las barreras corta-vientos

La altura y longitud requeridas para colocaciones típicas puede sorprenderlo

Por Bruce A. Suprenant & Ward R. Malisch
Traducción: José Gabriel Gómez Cortés

Documentos publicados por el ACI y otras organizaciones industriales recomiendan levantar barreras corta-vientos temporales (Fig. 1) para reducir la tasa de evaporación en el concreto fresco y minimizar de este modo la ocurrencia de agrietamiento por retracción plástica (Ref. 1-5). No obstante, ninguno de estos documentos describe la altura, porosidad, longitud, orientación o continuidad de tales barreras, necesarias para reducir la velocidad del viento a un nivel benigno. Sin esta información, es difícil determinar si las barreras constituyen una estrategia económica y efectiva para reducir la tasa de evaporación.

Beneficios de reducir la velocidad del viento

El secado superficial del concreto fresco se inicia cuando la tasa de evaporación es mayor que la tasa de exudación: la tasa a la cual el agua migra hacia la superficie del concreto recién colocado. Altas temperaturas en el concreto, alta velocidad del viento, bajas temperaturas del aire, baja humedad relativa o una combinación de estos factores, pueden ocasionar la evaporación rápida del agua superficial.



Figura 1: Las barreras corta-vientos pueden ser necesarias en clima frío porque la baja temperatura del aire, baja humedad relativa y alta velocidad del viento pueden llevar a un agrietamiento por retracción plástica. (Foto cortesía de Portland Cement Association)

El documento ACI 305R-104 indica que la probabilidad de agrietamiento por retracción plástica aumenta cuando las condiciones ambientales aumentan la evaporación o cuando el concreto tiene una baja tasa de exudación. También indica que la experiencia en limitar el agrietamiento por retracción plástica ha llevado a especificar valores admisibles de tasas de evaporación entre 0.25 y 1.0 kg/m²/h (0.05 a 0.2 lb/ft²/h).

Las tasas de evaporación pueden ser estimadas usando un nomograma publicado en las referencias 1 y 4, con la velocidad del viento, una de las variables más importantes, medida a una altura aproximada de 0.5 m (20 pulg.) sobre la parte superior de la losa de concreto. Por ejemplo, con una humedad relativa del 50%, una temperatura del aire de 27°C (80°F),

y una temperatura del concreto de 27°C (80°F), al reducir la velocidad del viento de 24 km/h (15 mph) a 8 km/h (5 mph) se reduce la tasa de evaporación de 1.0 a 0.5 kg/m²/h (0.2 a 0.1 lb/ft²/h).

El efecto de una barrera corta-viento en la colocación de un concreto se muestra esquemáticamente en la Fig. No. 2, en la cual el sangrado y la evaporación son graficadas como función del tiempo después de la colocación. Un punto crítico se presenta cuando la tasa de evaporación supera a la tasa de exudación antes de ocurrir el tiempo de fraguado. En muchas colocaciones, los puntos críticos ocurren muy pronto después de la colocación, cuando el agua de sangrado no ha alcanzado aún la superficie y poco antes del tiempo de fraguado, cuando la tasa de exudación de la mezcla se hace más lenta. El concreto puede soportar la primera zona crítica porque la mezcla es suficientemente plástica para simplemente retraerse dentro de una colocación delgada y las operaciones de acabado cerrarían las grietas incipientes, pero la segunda zona crítica puede ocasionar daño. El ejemplo muestra que una disminución significativa de la tasa de evaporación (obtenida en este caso con una barrera corta-viento), tiene el potencial de eliminar ambas zonas críticas.

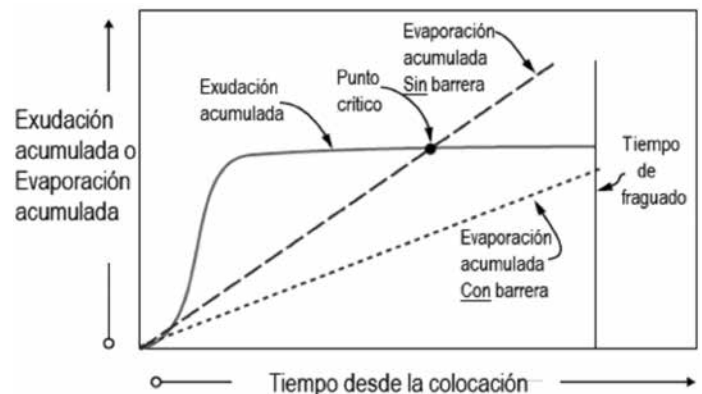


Figura 2: Representación esquemática del efecto de una barrera corta-viento sobre la tasa de evaporación y el potencial de agrietamiento por retracción plástica. Una barrera corta-viento resulta en una reducción significativa de la tasa de evaporación. La evaporación puede permanecer por debajo de la exudación desde la colocación hasta el tiempo de fraguado (modificado de la Ref. 5)

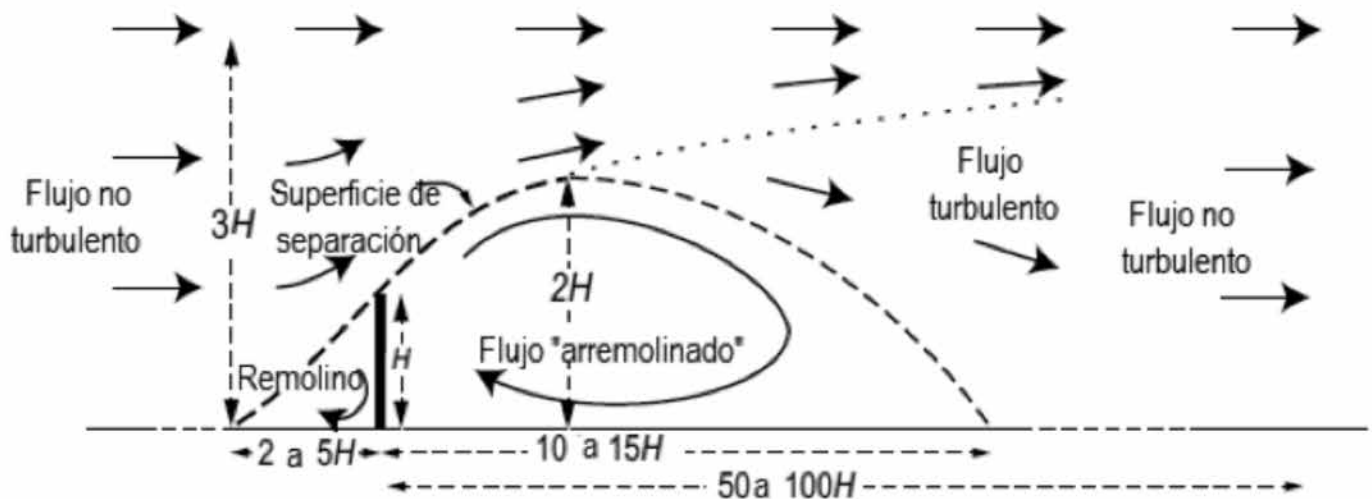


Figura 3: Esquema del efecto de la barrera corta-vientos
 Aunque el viento fluye sobre la barrera, la caída de presión en la zona protegida del viento resulta en un flujo con remolinos que puede tener una velocidad significativa (con base en la Referencia 6)

Función de la barrera Rompe-vientos

Por más de un siglo, los efectos de las barreras corta-vientos (vallas y protecciones) han sido estudiados por sus efectos sobre el microclima local. Estos estudios muestran que la altura, porosidad, longitud, orientación y continuidad de una barrera corta-viento son factores claves que afectan la velocidad del viento en la zona protegida detrás de la barrera.

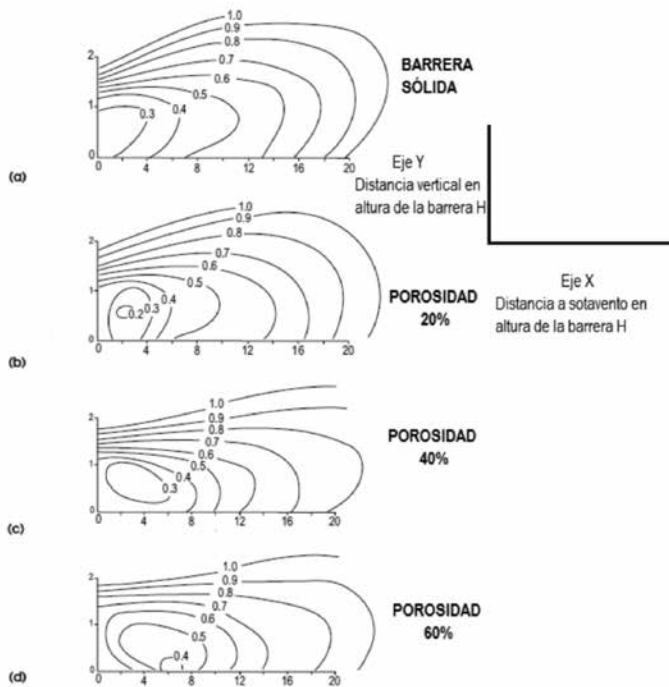
Altura

La altura de la barrera (H) es el factor más importante que determina el área protegida detrás de la barrera. El patrón de flujo resultante en una barrera es mostrado esquemáticamente en la Fig. 3. La región de flujo turbulento detrás de la barrera está dividida en dos zonas: la zona de "abrigo" (shadow) del

viento y el resto de la estela. La primera, un área con un flujo con remolinos (eddy flow), está generalmente entre 10H y 15H detrás de la barrera. El flujo incidente se reestablece aproximadamente 40H detrás de la barrera. Las mediciones muestran que las velocidades del viento cerca a la superficie detrás de una barrera sólida serán el 50% o menos de la velocidad del viento a campo abierto solamente dentro de una distancia de 7H detrás de ella (Fig. 4a)). Por consiguiente, una barrera sólida de 2.4 m (8 pies) de altura reducirá un viento con velocidad de 32 km/h (20 mph) a un viento con velocidad alrededor de 16 km/h (10 mph) dentro de un área protegida limitada solamente a unos 16 m (55 pies) desde la barrera.

Tipo de barrera	Velocidad de viento a sotavento, % de la velocidad de viento a campo abierto	Altura requerida de barrera corta-viento (H) como una función del ancho de la zona protegida (W)
Sólida	40	W/4
	50	W/7
	60	W/13
20% Poros	40	W/4.5
	50	W/6
	60	W/13
40% Poros	40	W/8
	50	W/10
	60	W/12
60% Poros	40	W/7
	50	W/8.5
	60	W/11

Tabla 1
 Alturas de barreras corta-vientos requeridas para reducciones específicas de velocidad de viento, para barreras con varias porosidades (con base en la Fig. 4)



Barlovento: Lado del cual viene el viento. Sotavento: Lado opuesto a aquel del cual viene el viento

Figura 4: Relación entre velocidad del viento a sotavento/velocidad del viento a barlovento, en una barrera corta-viento, del lado de sotavento. A medida que se incrementa la porosidad, la posición de la mínima velocidad se mueve hacia sotavento. La barrera con un 40% de porosidad produce la menor velocidad de viento sobre un área de mayor longitud (con base en la referencia 7)

Porosidad

Si la barrera es porosa, el flujo de aire a través de ella aumentará la presión en la cara inmediatamente adyacente a la cara de sotavento. El incremento de la porosidad mueve la posición de la mínima velocidad de viento a sotavento y el ancho del área protegida aumentará. Como se puede apreciar en la Fig. 4c), la mayor protección la suministra una barrera con un 40% de porosidad. La velocidad de viento detrás de una barrera con 40% de porosidad llega a ser igual o menor al 50% de la velocidad del viento a campo abierto dentro de una distancia aproximada de 10H detrás de la barrera (Fig. 4c), de manera que una barrera porosa de altura 2.4 m (8 pies) reducirá un viento de 32 km/h (20 mph) a uno de 16 km/h (10 mph) dentro de un área protegida de aproximadamente 24 m (80 pies) desde la barrera. Las alturas de las barreras requeridas para reducir la velocidad superficial del viento a

valores entre el 40 y el 60% de las velocidades del viento a campo abierto se resumen en la Tabla 1.

Orientación, longitud y pasos:

Para ser más efectiva, una barrera debe estar perpendicular a la dirección del viento. Igualmente, la longitud de la barrera debe exceder la longitud del área que se intenta proteger, no solamente porque la dirección del viento cambia, sino también porque los remolinos en los extremos de la barrera pueden aumentar localmente la velocidad del viento y reducir el área protegida. La Figura 5 muestra las áreas protegidas creadas por una o dos barreras con el viento soplando en diferentes direcciones. Obviamente, un cambio en la dirección del viento puede dejar inútil una barrera colocada en una sola dirección. Aunque una barrera orientada en dos direcciones ayudará a evitar el problema, el área protegida es aún limitada. La creación de una barrera totalmente perimetral suministrará la protección más confiable (y costosa). Los pasos (orificios) pueden causar altas velocidades localizadas, de modo que los orificios de acceso deben ser localizados solamente en la cara de sotavento.

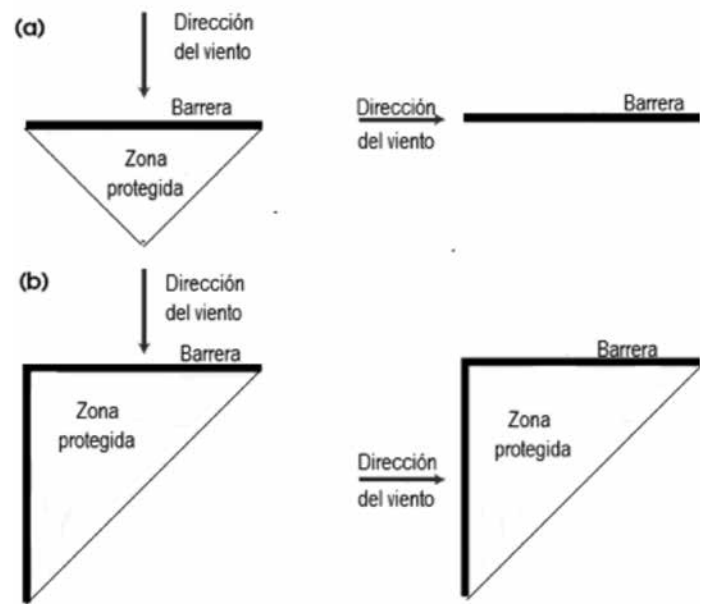


Figura 5: Las zonas protegidas por las barreras rompe-vientos con uno o dos tramos: a) Un tramo simple da protección únicamente cuando el viento sopla en dirección perpendicular al tramo; y b) barreras rompe-vientos de dos tramos protegen la misma área cuando el viento sopla en dirección perpendicular a cualquiera de los tramos. (con base en la Referencia 8)

Zona de colocación de concreto W x L (m)	Área de colocación (m ²)	Ancho de la barrera (m)	Longitud de la barrera (m)	Área total de la barrera (m ²)
Una franja (9x90)	1.2	1.2	110	132
Dos franjas (18x90)	2.4	2.4	130	312
Tres franjas (27x90)	3.6	3.6	150	540

Tabla 2
Requisitos para barreras rompe-vientos para reducir la velocidad del viento en un 50% sobre el ancho entero de la franja de colocación

Aplicaciones para colocaciones de Concreto:

La aplicación de barreras varía, dependiendo del tipo de colocación del concreto:

- Losas sobre terreno
- Losas aéreas
- Losas de cubierta

Losas sobre terreno

Las colocaciones de concreto en losas sobre terreno consisten usualmente en colocaciones en forma de tiras o bloques que varían en tamaño entre 900 a 2800 m² (10,000 a 30,000 pies cuadrados). La colocación de tiras se realiza por lo general en incrementos de anchos que corresponden al espaciamento de columnas (módulos) y longitudes de entre 5 y 10 módulos. De manera que, para un espaciamento típico entre columnas de 9 m (30 pies), las tiras de concreto deben ser de 9 m (30 pies) de ancho y hasta de 90 m (300 pies) de longitud. Los contratistas pueden colocar el concreto en una, dos o tres tiras, resultando unas áreas totales de colocación de 850, 1700 o 2500 m² (9.000, 18.000 ó 27.000 pies cuadrados). Con base en la Fig. 4 y en la Tabla 1, para reducir la velocidad de viento en un 50% en todas las partes de una colocación de concreto de ancho W , la altura H de la barrera sólida necesita ser de un valor $W/7$. Entonces, para un ancho de tira de colocación de 9 m (30 pies), H necesita ser aproximadamente 1.2 m (4 pies).

Suponiendo que el viento solamente atraviesa una colocación de una tira, la longitud de una barrera en una sola dirección necesaria para proteger la colocación deberá ser la longitud de colocación más dos anchos de la tira colocada ($L + 2W$). La Tabla 2 muestra los requisitos de altura, ancho y área de las barreras para tiras de 9, 18 y 27 m. (30, 60 y 90 pies) de ancho. Los valores están redondeados por defecto a los 30 cm. (1 pie) más próximos.

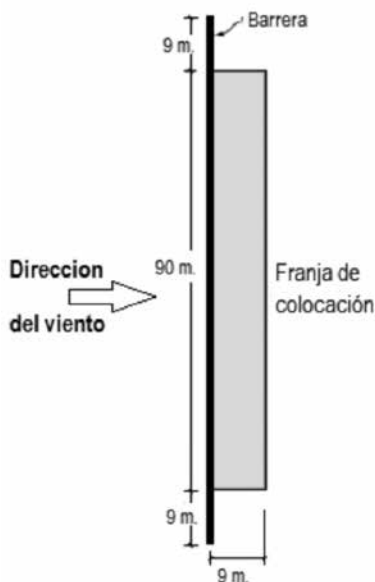


Figura 6: Para reducir la velocidad del viento en un 50% en un ancho de zona protegida de 9 m, es necesaria una barrera de altura 1.2 m. Para proteger una franja de colocación de concreto de 9 x 90 m., una barrera rompe-vientos de un solo tramo debe tener una longitud de 108 m.

Un esquema de una colocación de 9 m (Fig. 6) muestra la escala relativa de la barrera. Si se usan vallas de madera laminada u hojas de polietileno sujetadas a entramados de madera, los costos serán significativos, dependiendo de la habilidad para movilizar y re-usar la barrera.

Las barreras para colocaciones en bloque son aún menos económicas que las barreras para colocación de tiras. Por ejemplo, la colocación de concreto para una losa sobre terreno de 46x46 m (150x150 pies) protegida con una barrera en dos direcciones (Fig. 7). Con el fin de lograr una reducción del 50% en la velocidad del viento, la barrera necesitará tener algo más de 6 m (20 pies) de altura. La longitud en cada dirección de la barrera necesitará ser de 90 m (300 pies), de manera que el área total de la barrera será de por lo menos 540 m² (12,000 ft²). Una barrera de 6 m de altura será particularmente costosa, dado que la velocidad de viento de diseño para una barrera temporal puede ser tan alta como el 75% de la velocidad de viento básica requerida para el diseño de una estructura permanente.⁹

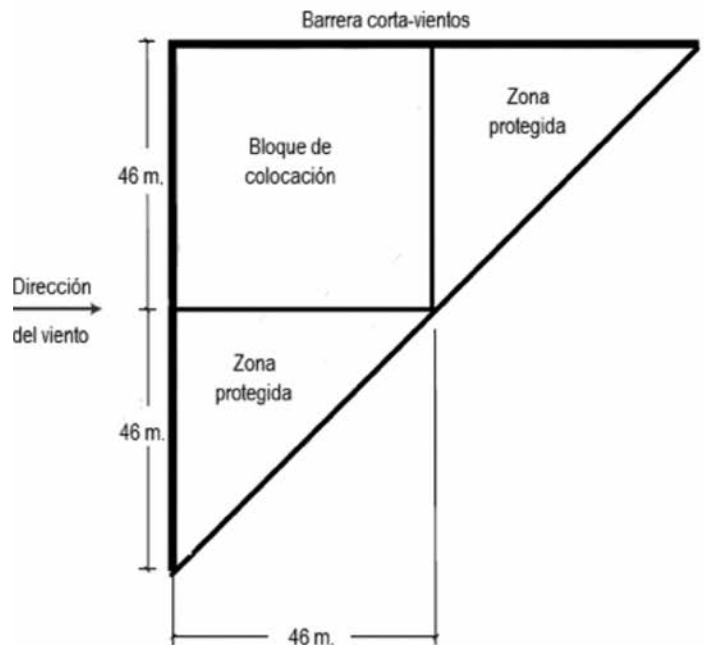


Figura 7: Para reducir la velocidad del viento en un 50% en un bloque de colocación de 46 x 46 m, una barrera corta-vientos debe tener una altura de 6 m. Dos tramos de longitud 90 m podrán suministrar el área protegida necesaria, pero a un costo muy alto,

Losas aéreas:

Mientras que el cerramiento perimetral es común para construcciones elevadas, la altura está limitada generalmente a 1.2 m (4'), de manera que la protección contra el viento será limitada. Los requisitos de barreras para colocaciones elevadas de concreto en pórticos de concreto reforzado son similares a aquellos para losas sobre terreno, excepto que las barreras necesitan ser colocadas por encima del terreno. Debido al incremento de costos de mano de obra y equipo para transportar los materiales y para su montaje, estas barreras serán aún menos económicas que aquellas para las losas sobre terreno.

Losas de cubierta encerradas:

Las barreras corta-viento para losas de cubierta colocadas sobre tableros metálicos o elementos prefabricados pueden hacerse usando láminas de madera o plástico alrededor del perímetro construido de cada piso. Este tipo de barrera elimina efectivamente el viento y es menos costosa de construir que las de otra clase. Las barreras para este tipo de colocación del concreto pueden ser económicas, especialmente cuando ellas sirven también de cerramiento para operaciones de colocación de concreto en tiempo frío.

Las barreras corta-viento pueden ser imprácticas:

Las recomendaciones de la industria para barreras corta viento parecen haber tenido su origen en los comienzos de los años 40 y 50, cuando las colocaciones de concreto eran relativamente pequeñas y no estaban aún disponibles los reductores de evaporación. Las barreras pueden ser prácticas para colocaciones pequeñas, pero su construcción puede no ser factible para colocaciones en grandes tiras o bloques de losas sobre terreno o para algunas losas aéreas.

Una alternativa es el uso de máquinas de acabado equipadas con recipientes que contienen reductores de evaporación –soluciones de químicos orgánicos en agua que forman una película sobre la lámina de agua exudada y reducen la tasa de evaporación del agua exudada⁵. Como lo indica la sección 5.10 del documento ACI 302.1R-0410 indica que los reductores de evaporación “...pueden ser rociados sobre el concreto en estado plástico una o más veces durante las operaciones de acabado...”. Otra alternativa es rociar una ayuda de acabado del concreto que no retarda la evaporación sino que actúa de manera similar a un agente reductor de agua que rompe los flóculos de cemento. Este producto se aplica sobre la superficie, liberando el agua atrapada dentro de los flóculos de cemento y reduciendo la posibilidad de agrietamiento por retracción plástica.

Referencias

1. Kosmatka, S., and Wilson, M., “Design and Control of Concrete Mixtures”, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2011, 440 pp.
2. ACI Comité 302, “Guide for Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-04)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, p. 63.
3. “Plastic Shrinkage Cracking (CIP 5)”, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Springs, MD, 1998, p. 2.
4. ACI Comité 305, “Guide to Hot Weather Concreting (ACI 305R-10)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, p. 4.
5. ACI Comité 308, “Guide to Curing Concrete (ACI 308R-01) (Reapproved 2008)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 30 pp.
6. Gloyne, R.W., “Some Effects of Shelterbelts upon Local and Micro Climate”, *Forestry*, V. 27, No. 2, 1954, pp. 85-95.
7. Hagen, L.J., and Skidmore, E.L., “Turbulent Velocity Fluctuations and Vertical Flow as Affected by Windbreak Porosity”, *Transactions of the ASAE*, V. 14, No. 4, 1971, pp. 634-637.
8. Brandle, J.R., and Finch, S., “How Windbreaks Work,” *University of Nebraska Extension EC 91-1763-B*.
9. “Design Loads on Structures during Construction (SEI/ASCE 37-02)”, *American Society of Civil Engineers*, Reston, VA, 2002, 36 pp.
10. ACI Comité 302, “Guide for Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-04) (Reapproved 2008)”, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, MI, 2004, 76 pp.

Bruce A. Suprenant, FACI, es consultor en concreto en Boulder, CO. Es miembro de los comités ACI 117, Tolerancias; 222, Corrosión de metales dentro del concreto; 228, Ensayos No Destructivos para el Concreto; 302 Construcción de pisos en concreto; 640, Certificación de Operarios de Construcción; y Coordinador del Comité de Construcción

Ward R. Malisch, FACI, es Director de la Sociedad Americana de Contratistas de Concreto (ASCC). Ha sido miembro del ACI por más de 40 años, es ingeniero licenciado, y es consultor en preguntas telefónicas de contratistas en todos los aspectos de la construcción en concreto de la ASCC por más de 20 años.

José Gabriel Gómez Cortés, es miembro de la junta directiva de la seccional Colombiana del ACI. Fue profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia por más de 30 años, hasta alcanzar la categoría de Profesor Titular. Actualmente es consultor particular en temas de Tecnología del Concreto y Patología del Concreto.

Propiedades mecánicas y de durabilidad de concretos con agregado reciclado

Néstor R. Bojacá Castañeda y Nancy Torres Castellanos

Resumen

El propósito de este artículo consiste en recopilar una serie de estudios e investigaciones de diferentes autores, a través de los cuales se observa la importancia fundamental que ha adquirido el uso de agregado reciclado en la fabricación de concreto reciclado; en este compendio se registran algunos avances específicos logrados, además datos sobre el uso de concreto reciclado en Europa y otros países desarrollados donde es bastante común su utilización y se cuenta con recomendaciones y regulaciones técnicas muy depuradas, en algunos Países, se restringe o limita su uso, dependiendo del tipo de obra que se pretenda adelantar.

El comportamiento del concreto reciclado elaborado con agregados reciclados se encuentra en una etapa preliminar de investigación en Colombia, se carece de una adecuada cultura sobre el reciclaje e investigaciones teóricas y de campo, que favorezcan la reutilización eficiente de este recurso en la elaboración de concreto reciclado y su utilización en nuevas construcciones.

Palabras clave: *concreto reciclado, concreto natural, concreto convencional, agregado natural, agregado reciclado*

INTRODUCCIÓN

“El concreto es el segundo producto de mayor consumo en la Tierra, después del agua.”

Koji Sakai, investigador de la Universidad de Kagawa

La creciente inestabilidad ambiental del planeta que podría amenazar el destino del hombre en la tierra, ha llevado a la necesidad ineludible de ver el mundo de una manera diferente, planteando el reto de rebajar los costos económicos de producción y limitar los desechos producidos por su acción. Sin duda, estas directrices han tenido en otros países una receptividad oportuna que los ha puesto a la vanguardia de los proyectos que utilizan concreto reciclado, mientras que en nuestro medio apenas se está incursionando en la materia.

Estados Unidos, Europa y Japón no solo tienen avanzadas conquistas en la reutilización de materiales sino que han creado industrias completas para el manejo y transformación de los residuos de construcción. En España, se ha aprobado ya la reutilización en porcentajes importantes de agregados reciclados. En países como Bélgica y Holanda, la tasa de reciclaje de escombros de construcción y demolición alcanza el 95%, y en esta última, la localidad de Steenkorrel tiene la mayor planta de reciclaje de escombros y de concreto de toda Europa con una capacidad de 700 t/h. (Seminario Asogravas, 2011).

Estas cifras demuestran que Colombia, se encuentra muy rezagada en estos avances. Sin embargo, en eventos realizados en los últimos años, entre otros: Foro Internacional sobre Gestión Integral de Escombros (2009), con la participación de Japón, España, Suecia y Colombia (Valle de Aburrá), se compartieron experiencias internacionales sobre la generación y aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición; Seminario Agregados Reciclados, Mitos y Realidades (2011); Primer Foro Distrital para la gestión y Control de los Residuos de la Construcción y demolición (2012), De otra parte, normatividad como el Plan de Desarrollo de la ciudad de Bogotá D.C., 2012-2016, adoptado mediante Acuerdo distrital 489 de 2012, artículo 30, Programa Basura Cero, el cual determina como proyectos prioritarios entre otros el de Escombros cero, la Resolución No. 01115 del 26 de septiembre de 2012, por medio de la cual se adoptan los lineamientos técnico ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital, permiten señalar que en Colombia y en particular en Bogotá sí ha habido preocupación por el tema y que se están proponiendo iniciativas para mitigar los problemas medioambientales generados por los residuos de la construcción y demolición, dado que no se hace separación de otros residuos, Foto 1.



Foto 1. Residuos de construcción y demolición

También ha habido interés por parte de universidades y empresas por investigar el comportamiento de concreto con agregados reciclados. De hecho, como parte de la tesis de maestría Propiedades Mecánicas y de Durabilidad de Concretos con Agregado Reciclado, BOJACÁ, (2013), en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, elaboró un estado del arte sobre concreto con agregados reciclados, el cual es objeto de este artículo.

En este documento en primera instancia, se mostrarán los resultados encontrados sobre las propiedades físicas del agregado reciclado; posteriormente, los diferentes estudios sobre las propiedades mecánicas del concreto reciclado, entre ellas, la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistencia a la flexión. Seguidamente, se referenciarán estudios sobre la durabilidad del concreto reciclado y por último, aspectos generales sobre el concreto reciclado y aplicaciones estructurales.

ASPECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO RECICLADO

Diferentes estudios hacen referencia a los menores valores de las propiedades que tiene el agregado reciclado comparado con el agregado natural, mientras otros insisten en la importancia de conocer las características del concreto del cual provienen los agregados. BARRA, (1996) concluye que la utilización de agregados reciclados procedentes de concreto puede quedar limitada frente a los agregados naturales, debido a su mayor absorción. En el mismo sentido GÓMEZ J., et ál., (1999) en su investigación "*Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto*", manifiesta que los agregados reciclados procedentes de concreto presentan un elevado nivel de porosidad, con posibilidad de absorber más agua, una densidad más baja que los agregados naturales, y que las variaciones en los valores de las propiedades de los diferentes agregados reciclados de concreto dependen del tipo de concreto original, su estado de conservación y del proceso de producción mediante el que son obtenidos.

Por su parte, HERNÁNDEZ C. et ál., (2005) estudiaron las ventajas y limitaciones de concretos elaborados con agregado

grueso reciclado y concluyeron que a pesar de las diferencias entre agregados reciclados y naturales, los métodos de ensayo de la norma técnica IRAM1531 siguen siendo aplicables, lo cual permitiría la inclusión del agregado reciclado en las normas y reglamentos. En España, SÁNCHEZ, (2004) encontró que en general, los agregados reciclados pueden satisfacer las especificaciones de la Instrucción Española del Hormigón Estructural, EHE, relativas a los contenidos de cloruros y sulfatos, aunque suelen presentar elevados contenidos de álcalis. Sin embargo, encontró que en este tipo de agregados puede resultar poco segura la determinación de cloruros solubles, solamente ya que aunque estos son los que pueden inicialmente atacar las armaduras, determinadas condiciones como la presencia de sulfatos, pueden provocar la liberación de cloruros no solubles, por lo que se debe determinar el contenido de cloruros totales. En cuanto al contenido de sulfatos, el agregado reciclado que ensayaron, cumplió las limitaciones que establece la EHE tanto para el contenido de sulfatos solubles en ácido, como para el contenido de compuestos totales de azufre. Los agregados reciclados presentan un elevado contenido de álcalis; por ello, para su utilización en ambientes diferentes a la exposición ambiente no agresivo y exposición ambiente normal-humedad media, se recomienda utilizar una única fuente controlada y realizar un estudio complementario de reactividad potencial tanto del propio agregado reciclado, como del agregado natural que se utilice en la mezcla.

De otra parte, en la compilación de autores realizada por RAKSHVIR et ál., (2006), sobre el tema, AJDUKIEWICZ Y KLISZCZEWICZ, (2002) reportan que las propiedades del concreto origen utilizado como agregado reciclado, influyen en las propiedades mecánicas del concreto reciclado obtenido y que es posible obtener concreto reciclado de mayor resistencia a la compresión que el concreto original. Consideran que el diseño de mezcla del concreto reciclado, es similar al de concreto con agregados naturales. Resaltan la necesidad de hacer correcciones de humedad con el objeto de obtener la trabajabilidad adecuada. NAGATAKI et ál., (2000) encontraron que a mayor absorción de agua, menor gravedad específica de los agregados reciclados. De acuerdo con TORBEN Y NARUD, (1983), en comparación con la grava natural, los agregados reciclados poseen menor densidad, mayor absorción de agua y mayor porcentaje de pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles. El porcentaje de mortero que permanece adherido a las partículas de grava natural en los agregados reciclados, Foto 2, varía aproximadamente de 30 % en fracciones de 16-32 mm., hasta más de 60 % en fracciones de 4-8 mm. Los autores estimaron que es probable que cantidades tan grandes de mortero en agregados reciclados afecten las propiedades de deformación de los concretos reciclados.

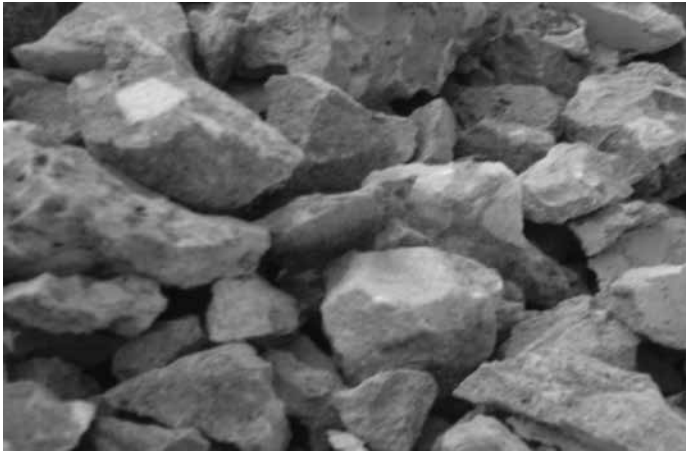


Foto 2. Agregado grueso reciclado

RAKSHVIR y BARAI, (2006) realizaron un programa experimental que consistió en el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados y de las propiedades de endurecimiento y del comportamiento a la fatiga del concreto con agregados reciclados en flexión. Además encontraron que el diseño de la mezcla del concreto reciclado fue similar a la del concreto convencional, aunque hicieron correcciones por humedad para obtener una manejabilidad adecuada y para compensar la mayor absorción de agua de los agregados reciclados. La resistencia a la compresión disminuyó entre 5 % y 15 %, mientras que las resistencias a flexión y a rotura por tracción fueron similares a medida que aumentaba la cantidad de agregado reciclado. Por otro lado, el módulo de elasticidad y la resistencia a la fatiga de concreto con 25 % de agregado reciclado, fueron menores que las de concreto convencional.

ROLÓN, (2007) reporta que el agregado proveniente de la demolición de pavimentos de concreto tiene ciertas desventajas debido a la composición de dos materiales (agregado natural y mortero adherido) que da como resultado un nuevo material con características diferentes y con desventajas como la porosidad, absorción, baja densidad y una baja aceptable en la resistencia a la compresión.

ASPECTOS RELACIONADOS CON LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO RECICLADO

Frente al comportamiento mecánico del concreto reciclado, RAKSHVIR, (2006) cita en su compilación el trabajo de POON, (2002), en donde, se variaron las mezclas mediante el reemplazo de agregados naturales gruesos y finos por agregados reciclados hasta 100 % por peso y se incorporaron cenizas volantes. Los resultados demostraron que reemplazos de agregado reciclado grueso y fino en niveles de 25 y 50 % inducen una ligera disminución en la resistencia a la compresión de ladrillos y bloques, mientras que niveles de reemplazo mayores la reducen considerablemente. CHEN, (2002) obtuvo que la resistencia a la compresión de concreto elaborado con agregados gruesos con partículas de ladrillos y baldosas o azulejos, alcanzó alrededor del 75 % de la resistencia del

concreto de control, mientras que la resistencia a la flexión fue del 78 % al 91 % y el módulo de elasticidad fue del 70 %. TOPCU, (1997) observó disminución del asentamiento y de la dureza de la superficie del concreto a medida que se incrementaba el contenido de residuos de concreto. El valor de la dureza Schmidt de 21.3 para concretos con agregado común se redujo a 11.6 para concretos con agregado reciclado. Las pruebas de velocidad de ultrasonido mostraron que a medida que se incrementaba la cantidad de agregados reciclados de concreto, la velocidad de pulso ultrasónico se reducía por el aumento en el volumen de vacíos. La resistencia a la compresión disminuyó con el aumento del contenido de residuos de agregados de concreto, especialmente cuando la relación fue mayor al 50 %. En otro estudio, TOPCU Y GUNCAN, (1995), encontraron que la densidad del concreto elaborado con agregados de concreto de desecho era diferente a la de concreto con agregado natural. La trabajabilidad disminuyó debido a la gran absorción de agua de los agregados reciclados. A medida que se incrementó la proporción de agregados reciclados de concreto, la resistencia a la compresión se redujo y fue menor a la esperada; el módulo de elasticidad fue de alrededor de 80 % del obtenido con la mezcla control. Por su parte, DE OLIVEIRA Y VÁZQUEZ, (1996) informaron que los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas se ajustaban a la información suministrada por la literatura existente. Sin embargo, observaron una leve disminución de la resistencia del concreto elaborado con agregados reciclados secos y saturados. Esa disminución fue mayor en la resistencia a la flexión. Finalmente, NAGATAKI *et ál.*, (2000) encontraron que los ensayos sobre los tipos de concreto fabricados con agregados reciclados aireados de calidad media y alta, arrojaron valores de resistencia de 3 % a 16 % mayores, comparadas con la resistencia del concreto original. Sucedió lo contrario cuando se fabricó concreto utilizando tanto fracciones finas como gruesas de agregado reciclado de baja calidad; la resistencia a la compresión se redujo un 6 % y la porosidad se incrementó un 11 %, esto comparado con el concreto de referencia. De igual forma, concluyeron que la estructura del mortero adherido es un indicador de calidad importante de los agregados reciclados que afecta directamente el rendimiento del concreto reciclado, y si los agregados reciclados no se originan en un concreto de muy baja calidad, la resistencia a la compresión del concreto reciclado con una relación A/C de 0.55 puede ser mayor que la resistencia del concreto original.

De otro lado, se encontraron investigaciones realizadas tanto en Colombia como en otros países, tales como MARTÍNEZ, (2006) quien concluye que el agregado reciclado con granulometría adecuada produce mezclas de concreto de buena calidad con un comportamiento mecánico similar al de concreto convencional. En relación con las resistencias a tensión y flexión encontró que para consumos de cemento de 300 kg/m³ y mayores, las relaciones $ft/\sqrt{f'c}$ y $MR/\sqrt{f'c}$ fueron menores para concreto con agregados reciclados posiblemente porque a bajas relaciones A/C domina el comportamiento del agregado grueso, mientras que para altas relaciones A/C controla el de la pasta, lo que en parte coincide con HERNÁNDEZ C. *et ál.*, (2005), quien concluye que la demanda de agua

de los concretos reciclados fue levemente mayor al concreto de referencia; entre tanto, la resistencia a la compresión fue levemente menor al de referencia. La deformación del concreto reciclado fue mayor que el concreto natural. El módulo de elasticidad para el concreto reciclado tuvo una disminución entre el 25 % y el 30 %, para edades de 7 y 28 días, respectivamente. De igual forma y frente a la resistencia del concreto reciclado, otros autores reportan que el módulo elástico en los concretos reciclados estudiados es un 20 % inferior a los de control BARRA, (1996); por su parte GÓMEZ, (1999) reporta reducciones en propiedades mecánicas proporcionales al aumento en los porcentajes de reemplazo de agregados reciclados procedentes de concreto, aunque similar evolución en el tiempo, así como incremento en los valores de fluencia y contracción del concreto reciclado, debido a la pasta adherida a los agregados reciclados.

EVANGELISTA, (2007) manifiesta que los residuos de la demolición de concreto son una fuente de agregados para la nueva producción de concreto. Adicionalmente, menciona que varios estudios han mostrado que el concreto con agregado grueso reciclado tiene propiedades similares a las del concreto convencional, incluso en concreto de alta resistencia, impactando esto de manera positiva en el medio ambiente. No obstante, el reemplazo de agregado fino está limitado por varios códigos ya que se cree que su mayor absorción va en deterioro de las propiedades del concreto. Sin embargo, encontró que es viable fabricar concreto estructural con agregado fino reciclado en reemplazos parciales o totales dado que la resistencia a la compresión no se ve afectada por el porcentaje de reemplazo, por lo menos hasta un 30 %. La resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad se redujeron con el aumento de la tasa de sustitución; sin embargo, los valores obtenidos para las propiedades fueron aceptables hasta tasas de sustitución del 30 %. La resistencia a la abrasión parece aumentar con el porcentaje de sustitución del agregado fino natural por el agregado fino reciclado, señalando que este último se obtuvo de mezclas de concreto especialmente producidas en el laboratorio, lo que llevó al control de trituración y tamizado de los agregados reciclados. El agregado fino reciclado obtenido a partir de estructuras sobre el terreno probablemente tendría partículas de suciedad que podrían desmejorar los valores de las propiedades, aspecto que se evitaría si se extrae con el debido cuidado de elementos prefabricados de concreto, aspecto que coincide con TONDA (2009), quien menciona que los valores de resistencia alcanzados fueron significativos y cumplieron los requerimientos habituales para obras de uso corriente como edificios y pavimentos y con THOMAS, (2011), cuyos resultados muestran aumento en la resistencia a compresión pero disminución del módulo elástico dinámico de concreto con agregados reciclados sometidos a cargas cíclicas.

En Colombia, VELANDIA, (2011) mostró los resultados que se han obtenido en ARGOS con la fabricación de concretos con agregado reciclado en porcentajes de sustitución del 0 %, 10 %, 20 % y el 30 %, observando que en todos los casos se superó en más del 50 %, la resistencia esperada.

DURABILIDAD DEL CONCRETO RECICLADO

Existen muy pocos estudios principalmente en Colombia, sobre durabilidad del concreto reciclado. Se encontró en los resultados BARRA, (1996) que la mayor porosidad del agregado reciclado, influye negativamente en la carbonatación del concreto, aspecto que coincide con HERNÁNDEZ, (2006), quien reporta que en cuanto a la durabilidad, el concreto reciclado es más poroso y por ende, más susceptible a ser atacado por los agentes ambientales.

En la compilación bibliográfica revisada por RAKSHVIR, (2006), OLORUNSOYO Y PADAYACHEE, (2002) encontraron que en términos generales, la durabilidad del concreto con agregado reciclado se redujo con el aumento de la cantidad de agregado reciclado, pero que aumentó con el tiempo de curado. La disminución de la durabilidad del concreto se explica por la presencia de grietas y fisuras producidas en los agregados reciclados durante su procesamiento, lo cual revela que los agregados con el tiempo son susceptibles de facilitar la permeabilidad, la difusión y la absorción de fluidos. Por su parte, NAGATAKI *et ál.*, (2000), reportan que la reducción del contenido de mortero adherido aumenta el rendimiento físico del concreto, mediante la reducción de la porosidad, la absorción de agua y el grado de acción capilar. Sobre este aspecto, es importante destacar el estudio realizado en el Instituto Superior Técnico, IST (Lisboa, Portugal) titulado "*Desempeño en la Durabilidad del Concreto Elaborado con Agregado Fino de Concreto Reciclado*", en el que los autores manifiestan que los agregados finos reciclados, son observados como la última opción para la producción de concreto, dado que muchas referencias mencionan su influencia perjudicial, sobre las características más importantes del concreto como la resistencia a compresión y a tracción, módulo de elasticidad, absorción de agua, contracción, carbonatación y penetración de cloruros. En el estudio se muestran los resultados de ensayos de absorción de agua por inmersión y capilaridad, penetración de cloruros (mediante el coeficiente de la migración de cloruro) y resistencia a carbonatación. La vida útil de una estructura de concreto está relacionada con las propiedades que definen la durabilidad, que incluyen entre otras, la permeabilidad (a varios agentes), la reactividad álcali-sílice, la resistencia a congelamiento y descongelamiento así como a sulfatos.

El concreto con agregados reciclados ya se está usando en la práctica, hasta tal punto que varios países han elaborado o están elaborando documentos normativos para regular su uso. La mayoría de los códigos limitan o prohíben incluso el uso de agregado fino reciclado. Entre algunas de sus conclusiones se encuentra que la absorción de agua por inmersión aumenta con la tasa de sustitución de los agregados finos naturales (FNA) por agregados finos reciclados (FRA), hasta un máximo del 46 % para el concreto elaborado exclusivamente de FRA, en comparación con un concreto de referencia utilizando sólo FNA. El agregado fino reciclado tiene un efecto más perjudicial sobre la resistencia a la absorción de agua por capilaridad que en la absorción de agua por inmersión, y el coeficiente de capacidad de absorción tiene un incremento

relativo del 70 % para el concreto hecho con 100 % de FRA, en comparación con el concreto de referencia. En ambos casos, parece que aumenta la absorción de agua linealmente con la tasa de reemplazo, ya que FRA tiene una estructura más porosa que se extiende a la matriz de concreto. Los coeficientes de migración de cloruro se incrementan linealmente con el porcentaje de sustitución de los agregados finos, alcanzando, para el presente caso, un aumento del 34 % para el concreto con el reemplazo total de la FNA en comparación con el concreto de referencia sin FRA. La resistencia a la carbonatación se reduce con la adición de FRA en el concreto; la profundidad de penetración de CO₂ aumentó alrededor de un 40 % para el concreto hecho con 30 % de FRA y alrededor de 110 % para el concreto hecho exclusivamente con FRA. Para una mayor durabilidad, el reemplazo total de la FNA por FRA en una mezcla de concreto puede presentar algunas dificultades serias; sin embargo, para porcentajes de sustitución más pequeñas (por ejemplo, 30 %), el uso de FRA para la producción de concreto estructural es factible, en contra de la noción generalizada (incluso en códigos). Finalmente, teniendo en cuenta el comportamiento mecánico aceptable de estos materiales y el hecho de que algunas estructuras no se ven afectadas por problemas de durabilidad (por ejemplo, elementos de concreto protegido de agentes agresivos naturales), el concreto FRA puede ser una fuente útil de material para la producción de concreto y podría potencialmente reemplazar FNA en algunas mezclas de concreto EVANGELISTA, (2010).

ASPECTOS GENERALES SOBRE EL CONCRETO REICLADO

Las investigaciones revisadas mencionan aspectos importantes que permiten contar con información fundamental a tener en cuenta en futuras investigaciones, o como base para la aplicación e implementación del uso de concreto reciclado.

En cuanto a aspectos técnicos, por ejemplo, BARRA, (1996) menciona que el consumo de cemento para obtener la resistencia a compresión respecto a un concreto dosificado con agregados convencionales, aumenta entre un 7.2 % para resistencias a compresión más bajas y un 17.3 % para las más altas. Por otra parte, GÓMEZ, (1999) reporta que al parecer, el porcentaje de agregado natural sustituido del orden de 30 %, en los concretos reciclados, marca la frontera entre el proceder de éstos y de un concreto normal y que en cuanto a la viabilidad de la fabricación de elementos estructurales de concreto reciclado, se deberán tomar en cuenta los parámetros y coeficientes adecuados al comportamiento de estos concretos.

TONDA, (2009) recomienda para concreto con fines estructurales, el estudio de aspectos vinculados a la durabilidad, tales como, contenido de sustancias nocivas de los agregados, permeabilidad a cloruros, penetración del agua a presión o absorción del concreto endurecido. Adicionalmente, resalta la posibilidad del uso de agregados reciclados anotando las ventajas medioambientales y socioeconómicas.

RODRÍGUEZ, (2011) menciona que en 2006 cada español consumía 11650 kg de agregados al año (150 veces su peso). El transporte de agregado a más de 40 kilómetros hacía que el transporte fuera más costoso que el agregado, por eso las canteras deberían estar cerca del centro de consumo. En la compilación por RAKSHVIR, (2006), TOPCU (1997) encontró que en las pruebas de impacto, la profundidad del daño fue mayor en concreto con agregados provenientes de residuos; la razón más importante fue que la pasta de cemento con escombros y desechos es frágil, lo cual afecta la resistencia al impacto del concreto.

En cuanto al uso, VELANDIA, (2011) menciona que en países como Inglaterra, Australia y Alemania, usan agregado reciclado en la fabricación de concreto estructural y que desde el punto de vista económico, la utilización del agregado reciclado puede ser competitiva dependiendo entre otros factores, de que existan incentivos gubernamentales y normatividad que exija o permita su uso.

MARTÍNEZ, (2006) concluye que el reciclaje del concreto para fabricar agregado reciclado y sustituir al natural es una práctica que debe empezar rápidamente, dada la escasez de materiales pétreos.

La Unión Europea de Productores de Áridos, UEPG, que tiene miembros en 31 países, en su informe bianual 2010-2011, reportó que la demanda de agregados en Europa es de 3000 millones de toneladas (5.5 toneladas per cápita) generando un negocio de 20000 millones de euros. El 90 % de los agregados son naturales, el 6 % son reciclados, el 2 % son agregados marinos y el 2 % son agregados elaborados.

Se encontró que en el mundo, al año se generan 900 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición. En países europeos la producción de residuos de la construcción son del orden de 1.0 kg/hab/día y en ciudades muy pobladas puede ascender a 1.5 kg/hab/día, SERRANO, (2009). No obstante lo anterior, algunos países europeos como se indicó anteriormente, prevén en sus normatividades la obligación de introducir un porcentaje de material reciclado en las obras de construcción y se cuenta con plantas de reciclaje, legislación y trabajo en laboratorio sobre el tema, lo que ha contribuido a aclarar la concepción que se tiene sobre los materiales reutilizables, dado que la cultura del reciclaje ha estado poco arraigada en la sociedad. *"El concreto es el segundo producto de mayor consumo en la Tierra, después del agua"*, menciona Sakai, investigador de la Universidad de Kagawa en Japón, señalando que el Reino Unido es el país que utiliza más concreto reciclado. La mayor parte de ese material se ha usado para infraestructura, como los recintos para los Juegos Olímpicos de Londres en 2012. Otro país que le da uso a sus materiales de residuo es Japón, donde se fabrica concreto con los desperdicios de la construcción de su red vial. En Estados Unidos, Alemania, Australia, Bélgica, Holanda y los Emiratos Árabes Unidos, también se aplican técnicas de recuperación de desperdicios de construcción (Revista Obras, México, 2010).

Un ejemplo de la posibilidad de uso del concreto reciclado, aparece en la normatividad de La EHE (Instrucción Española del Hormigón Estructural), que contempla para la fabricación de concreto estructural con agregados reciclados, solo el 20 % de reemplazo; para concreto no estructural se permite el 100 % de agregado reciclado. RODRÍGUEZ, (2011).

RESULTADOS DE ALGUNAS INVESTIGACIONES EN COLOMBIA

BOJACÁ, (2008), en su trabajo de grado de especialización Concreto Sostenible como Alternativa Estructural, Ambiental y Económica en la Construcción de Obras Civiles, encontró que en comparación con el agregado natural, la densidad del agregado grueso reciclado era un 20 % menor, su absorción seis veces mayor y el desgaste en la máquina de Los Ángeles aproximadamente el doble (45 % contra 25 %). Estos resultados obedecen a la desintegración de la pasta de cemento que queda adherida al agregado reciclado. También reporta que debido a la alta absorción del agregado reciclado, el asentamiento del concreto fabricado con agregado grueso reciclado tiende a ser mucho menor que la del concreto convencional, si no se humedece por varias horas antes de la mezcla. La resistencia a la compresión del concreto fabricado con agregado grueso reciclado fue un 30 % inferior a la del concreto de referencia, mientras que el módulo elástico fue un 35 % menor y la resistencia a flexión un 20 % menor.

En su trabajo de grado *"Hacia un Desarrollo sostenible en la Producción de Concreto a partir de Desechos de Construcción de Mampostería de Arcilla"*, FUERTES (2012) concluyó que como solución al manejo integral de los RCD, es posible aprovechar el material de desecho de arcilla en concretos no estructurales, bloques y adoquines de uso normal.

Por su parte, TORRES, (2011) plantea que como forma de promover el uso de concreto elaborado con agregado reciclado en Colombia, además de la investigación sobre las propiedades del mismo, es necesario recopilar datos sobre el comportamiento de los elementos estructurales hechos con concreto con agregados reciclados y recomienda construir elementos estructurales y no estructurales en proyectos reales y monitorearlos para verificar su desempeño.

BOJACÁ, (2013) en su tesis de maestría *"Propiedades Mecánicas y de Durabilidad de Concretos con Agregado Reciclado"*, concluyó que el agregado reciclado proveniente de la trituración de concreto comparado con el agregado natural, presenta mayor absorción, menor densidad, menor coeficiente de forma y menor resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles y en el ensayo Micro Deval. También encontró que la resistencia a compresión de concreto con hasta 40 % de reemplazo fue similar a la de la muestra de control, que el módulo elástico no sufrió disminución significativa y que el módulo de rotura tuvo una disminución de 10% para concreto con 40 % de reemplazo. En cuanto a ensayos de durabilidad, se en-

contró que la permeabilidad a cloruros a 28 días del concreto con agregado reciclado, fue similar a la del concreto control, mientras que a 56 días, el concreto con 40 % de reemplazo tuvo una permeabilidad 18 % inferior a la del concreto control. En relación con la resistencia a la carbonatación, el concreto con agregado reciclado presentó mejor comportamiento que el concreto control. Finalmente, los ensayos ISAT y sortividad dieron resultados similares. Recomendó para futuras investigaciones, la compilación de información obtenida tanto por la Escuela Colombiana de Ingeniería como en otras universidades, con el fin de generar guías de diseño que contemplen el uso de agregado reciclado.

Para concluir, ARRIAGA (2013) en su investigación *"Utilización de Agregado Grueso de Concreto en Elementos Estructurales de Concreto Reforzado"*, construyó y ensayó elementos estructurales como vigas continuas, vigas altas, placas apoyadas en tres bordes y ménsulas con concreto con agregado reciclado con reemplazo de agregado grueso del 20 %. Concluyó que para una sustitución del 20 % del agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado, se obtienen comportamientos satisfactorios desde el punto de vista de resistencia mecánica y las diferencias entre el concreto convencional y el concreto con agregado de concreto reciclado no son significativas.

CONCLUSIÓN

De las investigaciones reseñadas se puede concluir, que es técnicamente factible el uso de agregado reciclado en la fabricación de concreto en Colombia, al igual que en otros países. Dada la proyección de generación de escombros que se prevé para un futuro inmediato, este material se convierte en una alternativa para ser utilizado en obras civiles, que además, impactará positivamente en el medio ambiente. Por otro lado, puede redundar en una posible reducción de costos de los materiales de la construcción. En suma, podría generarse así una nueva cultura del reciclaje cuando se observe el beneficio que se deriva de su aprovechamiento.

REFERENCIAS

- ALDERETE, N.** Tesis de Becarios Ensayo a Flexión de Vigas de Hormigón con Incorporación de Agregados Reciclados. Universidad Tecnológica Nacional. La Plata, Argentina. 2010
- ARRIAGA, L.** Trabajo de Grado de Especialización Utilización de Agregado Grueso de Concreto en Elementos Estructurales de Concreto Reforzado. Escuela Colombiana de Ingeniería, Julio Garavito. Bogotá, Colombia. 2013
- ASTUDILLO, B.** Análisis de los componentes en hormigones preparados con áridos reciclados. [en línea]. 2003. Madrid, España. Disponible en Internet: <http://www.minas.upm.es/catedra-anefa/Consultas/ASTUDILLO-Beatriz-IV-IBERMAC.pdf>
- BARRA, M.** (1996), Estudio de la durabilidad del hormigón reciclado en su aplicación como hormigón armado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 1996
- BOJACÁ, N.** Trabajo de Grado de Especialización Concreto Sostenible como Alternativa Estructural, Ambiental y Económica en la Construcción de Obras Civiles. Escuela Colombiana de Ingeniería, Julio Garavito. Bogotá, Colombia. 2008
- BOJACÁ, N.** Trabajo de Grado de Maestría en Ingeniería Civil Propiedades Mecánicas y de Durabilidad de Concretos con Agregado Reciclado. Escuela Colombiana de Ingeniería, Julio Garavito. Bogotá, Colombia. 2013
- DI MAIO, A.A.; ZEGA, C; TAUS, V.; TRAVERSA, L.P.** Durability of Recycled Concretos. INCERC. Comportarea in Situ a Constructiilor. Conferinta Natianala. Bucarest, 2004.
- EVANGELISTA, L; DE BRITO, J.** Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites* 29; pp. 397-401. 2007
- EVANGELISTA, L; DE BRITO, J.** Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites* 32; pp. 9-14. 2010
- FUERTES, A.** Trabajo de Grado de Especialización Hacia un Desarrollo Sostenible en la Producción de Concreto a partir de Desechos de Construcción de Mampostería de Arcilla. Escuela Colombiana de Ingeniería, Julio Garavito. Bogotá, Colombia. 2012
- GÓMEZ, J.** Cualidades Físicas y Mecánicas de los Agregados Reciclados de Concreto. *Revista Construcción y Tecnología del IMCYC*. Vol.15. No.167, pp.10-12
- GÓMEZ, SOBERÓN, J.M.V; AGULLÓ FITÉ, LI.; VÁZQUEZ ROMANICH, E.** Propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto. "Tecnología y construcción", 2002, XIII-157,10-22* 0187-7895
- GÓMEZ, J.** Durabilidad del Concreto. Memorias de la Conferencia Durabilidad del Concreto. Sika, Ecuador. 2010
- GÓMEZ, J.** Sortividad de Concretos empleando Concreto Reciclado como Agregado Grueso – La Experiencia Colombiana. XI Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIII Congreso de Control de Calidad en la Construcción. Antigua Guatemala. 2011
- GONZÁLEZ, M.** Ataque Químico al Concreto. Exposición en el Ciclo Organizado por el ACI, Capítulo Peruano sobre Corrosión en Estructuras de Concreto. Perú. 1991
- HARO, V.** Estudio de la Durabilidad con Áridos Reciclados. Ingeniería de la Construcción. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 2009
- HANSEN, T.C.; SCHULZ, R.; CH. F.; MOLIN, C; LAURITZEN, E.K.** Recycling of Demolition Concrete and Masonry. Report of Technical committee 37-DCR Demolition and Reuse of Concrete. RILEM; Ed. T.C. Hansen. 1992
- HERNÁNDEZ, C., FORNASIER, G.** Caracterización de Hormigones Elaborados con Agregado Grueso Reciclado. *Revista Hormigonar* No.7, pp.6-14, Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, Buenos Aires, Argentina. 2005
- JOVANÉ, M.** Comparación de Permeabilidad en el Concreto mediante Ensayo de Sortividad y Permeabilidad Superficial Inicial. Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2009
- KASAI, Y., HISAKA, M., YANGI, K.** Durability of Concrete using Recycled Coarse Aggregate; Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Vol. 2 Reuse of Demolition Waste, Proceedings of the Second International RILEM Symposium; Ed. Y. Kasay; pp 643-651. 1988
- LEÓN, A.** Propiedades del concreto reciclado como agregado. Trabajo de grado (Magíster en Construcción). Universidad Nacional de Colombia. Universidad Politécnica de Valencia. Facultad de Artes. Departamento de Construcción. Bogotá, Colombia. 2001.
- LÓPEZ, F.** Influencia de la Variación de los Parámetros de Dosisificación y Fabricación de Hormigón Reciclado Estructural sobre sus Propiedades Físicas y Mecánica. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Gijón, España. 2008
- MALHOTRA, V.M.** Use of Recycled Concrete as a new Aggregate. Report 76/18, Canadian Center of Mineral and Energy Technology. Ottawa, Canada. 1796
- MARTÍNEZ, I. y MENDOZA, J.** Comportamiento Mecánico de Concreto Fabricado con Agregados Reciclados. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*. Volumen II. No.3. pp.151-164. México. 2006
- MATALLANA, R.** Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. 150p. Medellín, Colombia. 2006
- MORENO E., ET. AL.** Efecto de la Relación Agua/Cemento en la Velocidad de Carbonatación del Concreto utilizando una Cámara de Aceleración. *Revista Ingeniería* 8-2, pp.117-130. 2004
- PINZÓN, H.** Trabajo de Grado de Especialización Valoración de Algunas Propiedades del Concreto Adicionado con Vidrio Pulverizado. Escuela Colombiana de Ingeniería, Julio Garavito. Bogotá, Colombia. 2009
- RAKSHVIR, MAJOR; BARAI, SUDHIRKUMAR V.,** Studies on recycled aggregates-based concrete Waste management & research; 24(3): p.225-33. India. 2006.
- REYES, D.** Manejo y reciclaje de escombros de construcción. Trabajo de grado (Arquitecto). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Departamento de Construcción. 153p. Santafé de Bogotá. Colombia. 1999
- RODRÍGUEZ, S.** El Uso de Agregados Reciclados en España. Memorias Seminario Mitos y Realidades. Asogravas y Asocreto. Bogotá, Colombia. 2011
- ROLÓN, J., NIEVES, D., ET. AL.** Caracterización del Hormigón Elaborado con Áridos Reciclados Producto de la Demolición de Estructuras de Hormigón. *Revista Materiales de Construcción*. Vol. 57. No.288. p.p.5-15. 2007
- SAKAI, K.** Tiempo de Reciclar. *Revista Obras*. Disponible en: www.cnnexpansion.com/obras/2010/02/05/tiempo-de-reciclar. 2010.
- SALAS, R.** Reciclaje del concreto. Seminario Sobre El Concreto Como Material. Caracas, Universidad Central de Venezuela. 17 p. Caracas, Venezuela. 1984
- SÁNCHEZ DE SAN JUAN M., ALAEJOS, P.** Aspectos Químicos del Árido Reciclado Relacionados con la Durabilidad del Concreto. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. CEDEX. C/ALFONSO XII, 3 y 5. 2004
- SÁNCHEZ DE JUAN, M.** Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Ingeniería Civil: Construcción / E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). 2004. [citado 30 de Junio 2008] Disponible en Internet: <http://oa.upm.es/381>
- SOLIS, R.G., MORENO, E.I. y CASTILLO, R.W.** Predicción de

la Resistencia con Base en la Velocidad de Pulso Ultrasónico y un Índice de Calidad de los Agregados. Universidad Autónoma de Yucatán. *Revista Técnica de Ingeniería*. pp. 41-52. México

SOTO, I. et. Al. *Uso de RCD's como Áridos Reciclados y su Empleo en Hormigones Estructurales*. Pesquisa e Tecnologia MINERVA. Escola de Engenharia de San Carlos. Universidad de Sao Paulo. Sao Pauli, Brasil. 2006

TERENISHI, K.; DOSHO, Y.; NARIKAWA, M.; KIKUCHI, M. *Application of Recycled Aggregate Concrete for Structure Concrete. Part. 3 – Production of Recycled Aggregate by Real Scale Plant and Quality Recycled Concrete Aggregate. Use of Recycled Concrete Aggregate, Sustainable Construction*; Ed. Dhir, Henderson y Lymbachiya; pp.143 – 156. 1998

THOMAS, C., SETIÉN, J., POLANCO, J. *Daño por Fatiga en Hormigones Reciclados*. Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales, E.T.S. de Ingenieros de Caminos. *Anales de Mecánica de la Fractura* 28, Vol. 1. 2011

TONDA, M., BEGLIARDO, H., PANIGATTI, M. *Reciclado de Hormigón sin Preselección en Origen*. *Hormigonar – Revista de la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado*. Año 6, Edición 18. 2009.

TORRES, N. QUIROGA, P. *Comparación del Comportamiento de Elementos Estructurales Elaborados con Concreto Convencional y Concreto con Agregados Reciclados en Colombia*. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*. No.87. pp.7-14. Bogotá, Colombia. 2012

TORRES, J. H. *Reciclaje de desechos Sólidos de la Construcción. Análisis comparativo para la elaboración de concreto con áridos reciclados*. 158p. Trabajo de grado (Magíster en Construcción). Universidad Politécnica de Valencia. Facultad de Artes. Departamento de Ingeniería de la Construcción. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, 2000

TORRES, N. *Valoración del Paso de Cloruros en Concretos con Diferentes Características*. *Revista Técnica American Concrete Institute – Seccional Colombiana*. No.8. Bogotá, Colombia. 2006

TORRES, N., QUIROGA, P. *Concreto con Agregados Provenientes de Escombros de Construcción y Demolición en Colombia*. *Revista Técnica American Concrete Institute – Seccional Colombiana*. No.18. 2011

VELANDIA, D. *Seminario Agregados Reciclados: Mitos y Realidades*. *Asocreto y Asogravas*. *Concretos Argos*. Bogotá, Colombia. Julio de 2011.

ASOGRAVAS, *Memorias Seminario Experiencia Internacional para Reciclaje de Concreto*. Bogotá, Colombia. 2011

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. *Secretaría Distrital de Ambiente*. Resolución No.01115 del 26 de septiembre de 2012 “por medio de la cual se adoptan los lineamientos técnico ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital...”

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. *Acuerdo Distrital 489 de 2012*. *Plan Nacional de Desarrollo de la ciudad de Bogotá*. 2012 – 2016.

Instrucciones para la publicación de artículos

Política editorial

El boletín técnico de la Seccional Colombiana del Instituto Americano del Concreto (ACI), acepta para su publicación, artículos sobre investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos originales e inéditos, relacionados con el cemento, el concreto, las estructuras de concreto reforzado, la ingeniería y las ciencias aplicadas afines. Se entiende por documento inédito aquel que se haya preparado especialmente para su publicación en el boletín y por lo tanto no se encuentre en proceso de aprobación en otra revista.

También se aceptan artículos de revisión o actualización, traducciones técnicas y demás trabajos que contribuyan a la generación de conocimiento y la difusión del mismo, como resúmenes de tesis y trabajos de promoción, entre otros. Los artículos deben corresponder a la siguiente tipología, de acuerdo con los lineamientos de Colciencias:

1. Artículo de investigación científica y tecnológica. Documento que presenta de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. El artículo debe estar compuesto por cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

2. Artículo de reflexión. Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

3. Artículo de revisión. Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

4. Artículo corto. Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requiere de una pronta difusión.

5. Reporte de caso. Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

6. Revisión de tema. Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

7. Cartas al editor. Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en el boletín, que a juicio del comité editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.

8. Editorial. Documento escrito por el presidente de la seccional, un miembro del comité editorial, el editor o un invitado, sobre orientaciones en el dominio temático del boletín.

9. Traducción. Traducciones de textos clásicos o de actualidad o transcripciones de documentos históricos o de interés particular en el dominio de publicación del boletín técnico.

10. Documento de reflexión no derivado de investigación.

Cabe destacar que serán privilegiados para la publicación en el boletín técnico, los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

Proceso para la publicación del artículo

Los artículos se pueden enviar en medio físico y magnético a la sede de la Seccional Colombiana del ACI, localizada en la carrera 19A No. 84-14 Oficina 502, de la Ciudad de Bogotá, D. C. También se puede enviar en medio magnético a la dirección de correo electrónico de la seccional aci.colombia@gmail.com. Los documentos deben ser tipo texto y deben estar elaborados bajo ambientes windows.

El boletín de la seccional se reserva los derechos de impresión, reproducción total o parcial del material, así como el de aceptarlo o rechazarlo. Igualmente, se reserva el derecho de hacer cualquier observación editorial que estime conveniente. En este sentido, el comité editorial revisará el artículo y en caso de ser necesario, el autor recibirá por escrito recomendaciones de los evaluadores o con sistema de control de cambios sugerencias sobre el archivo original del documento. Si las acepta, deberá entregar el artículo con los ajustes sugeridos dentro de las fechas fijadas por la revista para garantizar su publicación dentro del número programado. El comité editorial se apoyará en pares nacionales e internacionales.

El artículo debe estar acompañado de una carta del autor, dirigida al editor, en la cual manifieste que el artículo es inédito, que no ha sido remitido a otra publicación, que conoce y acepta las instrucciones y términos para la publicación de artículos y hace la cesión de derechos de autor al Boletín Técnico de la Seccional Colombiana del ACI. Debe anexar su dirección de correo electrónico y números telefónicos de contacto.

El Comité editorial de las revistas técnicas, en un término de 45 días, contados a partir de la fecha de recibido, terminará la revisión del artículo y dará a conocer al autor las observaciones a que haya lugar o le notificará la no aceptación. En el caso en que se consideren observaciones, se le informará al autor que tiene un plazo de 15 días para su respuesta y el comité editorial dispondrá de otros quince días para realizar las verificaciones o aceptar las explicaciones del caso.

Contenido del artículo

El artículo debe componerse de las siguientes partes:

Título en español e inglés. Debe ser explicativo del artículo, estar escrito en mayúsculas y preferiblemente ser breve.

Información de los autores. En toda propuesta se debe presentar del autor o autores: nombre, formación académica, cargo actual e instituciones a la que está vinculado. Si prefieren, pueden anotar su dirección de correo electrónico.

Resumen en español e inglés. El trabajo debe acompañarse de resúmenes de aproximadamente 200 palabras en español e inglés.

Palabras claves en español e inglés. Deben presentarse de tres a diez palabras o frases que identifiquen los aspectos principales del artículo.

Dependiendo del tipo de artículo este debe contener Introducción, marco teórico, metodología, desarrollo experimental, resultados y conclusiones.

Agradecimientos. Si los hay, deben ser breves e incluir los aportes esenciales para el desarrollo del trabajo.

Apéndices

Referencias. Las referencias bibliográficas se incluirán al final del artículo, enumeradas según orden de aparición, escribiendo primero el apellido seguido de las iniciales de los nombres de cada uno de los autores. Si los autores son más de tres, en el texto principal cite sólo al primero, seguido de la expresión et al. Separar con comas todos los ítems. Preferiblemente Indicar las páginas referenciadas. En general aplican las normas NTC pertinentes.

Presentación de los artículos

La extensión máxima del artículo propuesto será de 20 páginas a espacio doble en papel tamaño carta, incluyendo tablas, gráficas y fotografías. Todo el documento debe estar en blanco y negro.

Las expresiones matemáticas deben hacerse con un editor de fórmulas adecuado y los símbolos especiales se identificarán en forma apropiada. Las letras utilizadas como símbolos se definirán cuando aparezcan por primera vez, bien sea en figuras, tablas o texto, y se dispondrán alfabéticamente al final del artículo en un apéndice denominado Nomenclatura.

Se usarán definiciones y símbolos empleados en ingeniería.

Se utilizarán el sistema internacional de unidades y los símbolos correspondientes. En aquellos casos en que se acostumbren otras unidades, a continuación de estas, se colocará entre paréntesis su equivalente en el sistema internacional de unidades.

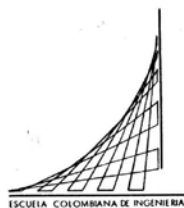
En caso de traducciones, se debe incluir una copia del artículo en el idioma original.

El boletín técnico, su editor y consejo editorial manifiestan que no son responsables del contenido de los artículos publicados, que la veracidad es responsabilidad exclusiva del autor y que los lectores deben analizar e interpretar el contenido bajo su propio criterio.

El baúl de los recuerdos

Colaboración del Ingeniero Jairo Uribe Escamilla

Con este número de la Revista Técnica de la Seccional Colombiana del ACI, reaparece la sección del Baúl de Los Recuerdos. En esta oportunidad presentamos una carta de fecha agosto 25 de 1978 por medio de la cual, el ingeniero Jairo Uribe Escamilla, invita a una reunión con el propósito de organizar el Capítulo Colombiano del Instituto Americano del Concreto ACI.



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

Bogotá, Agosto 25 de 1978

Apreciado colega:

Por medio de la presente tengo el gusto de invitarlo a la reunión que con objeto de organizar el Capítulo Colombiano del Instituto Americano del Concreto (ACI) se efectuará el próximo primero - (1o.) de Septiembre a las 5 p. m. en el Club de Ingenieros. Dicha reunión contará con la presencia del Ingeniero Mohan Malhotra - quien viene en representación de dicho Instituto.

Dada la importancia que para el futuro del Capítulo tiene el éxito de esta primera reunión y el renombre internacional de quien nos visita será muy valioso contar con su asistencia y participación.

La reunión concluirá con un coctel ofrecido gentilmente por Central de Mezclas S. A., empresa que ha querido vincularse a esta realización.

Esperando una pronta confirmación de su asistencia al teléfono - 2540304, le ruego aceptar mi cordial saludo.

Atentamente,

JAIRO URIBE ESCAMILLA

idu

BOGOTA, COLOMBIA - CARRERA 6a. No. 118-80 - TELEFONOS: 254 03 04 + 254 06 54 - 254 09 78 - APARTADO AEREO 14520



American Concrete Institute
Seccional Colombiana

Carrera 19 A # 84-14 Of. 502 PBX: 691 6125
Bogotá, D.C., Colombia
www.acicolombia.org.co • aci.colombia@gmail.com

FORMULARIO

AFILIACIÓN

ESTUDIANTE

RENOVACIÓN

PROFESIONAL

Nombres: _____

Apellidos: _____

Empresa: _____

Cargo: _____

Actividad de la empresa: _____

Profesión: _____

Dirección ofic. _____ Ciudad _____

E-mail: _____

Teléfonos: _____

Dirección envío de correspondencia: _____

No. Matrícula Profesional: _____

No. Cédula de ciudadanía: _____

Universidad: _____

Fecha de Grado: _____

Estudios de Postgrado: _____

Cuota Año 2014

Profesionales:	\$ 140.000
Estudiantes:	<ul style="list-style-type: none">• Con revista en medio magnético (por medio de la página web) No pagan• Con revista en medio físico \$ 45.000

Favor consignar en Banco de Bogotá Cuenta Corriente No. 008-03227-8 a nombre del Instituto Americano del Concreto y enviar el formulario y la consignación diligenciada al Fax No. 5300827 o al correo aci.colombia@gmail.com

Fecha: _____ Firma: _____

Nota: Los Estudiantes deberán anexar copia del carnet estudiantil vigente.



American Concrete Institute
Seccional Colombiana

Carrera 19 A # 84-14 Of. 502 PBX: 691 6125

Bogotá, D.C., Colombia

www.acicolombia.org.co • aci.colombia@gmail.com