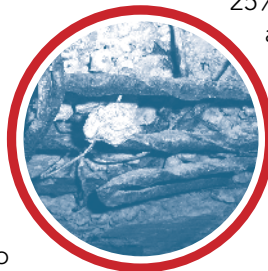


CARBONATACIÓN

# Influencia en morteros de cemento Portland y ceniza volante

**P**ara producir concreto es necesario utilizar cemento Portland como aglutinante; sin embargo, por cada tonelada de cemento producida se genera una cantidad importante de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que es emitida a la atmósfera provocando un impacto en el medioambiente. En este sentido, existe un claro consenso internacional que señala que el desarrollo sustentable de las industrias del cemento y de concreto puede lograrse con la sustitución parcial de un porcentaje de cemento con materiales cementantes suplementarios, reduciendo con esto la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En este sentido, la ceniza volante (FA por sus siglas en inglés) se ha utilizado con éxito.



Algunos especialistas se han enfocado en la importancia de la FA en el mecanismo de corrosión del acero de refuerzo inducido por cloruros; aspecto considerado como la principal causa de deterioro prematuro en estructuras de concreto reforzado. Sin embargo, son limitadas las investigaciones sobre el papel que la FA juega frente al fenómeno de la carbonatación, que en algunas regiones puede presentarse como principal problema de degradación por corrosión del acero de refuerzo en estas estructuras.

La carbonatación es un proceso completamente natural que depende también de variables naturales, consecuencia de las condiciones de exposición del concreto. Coinciden los especialistas en que el avance del frente de carbonatación depende principalmente del contenido de humedad relativa, de la permeabilidad del concreto y de la concentración de CO<sub>2</sub> disponible en el ambiente. Consideran además que la adición de FA al concreto puede influir sobre la capacidad protectora del recubrimiento del acero y con ello reducir la incidencia de la corrosión.

Se exponen en este escrito los resultados de un estudio realizado en la Universidad Autónoma

de Nuevo León, México (UANL), cuyo objetivo fue investigar los efectos de la utilización de FA tipo "F" en morteros con Cemento Portland Ordinario (CPO) expuestos a una atmósfera rica en CO<sub>2</sub>. Para evaluarlo se realizaron mediciones de porosimetría y del pH de la matriz en morteros no carbonatados y carbonatados.

Para realizar las mezclas se utilizó Cemento Portland Ordinario y la FA en sustitución parcial del 25% del cemento, porcentaje en masa. Se utilizó agregado fino calizo con un tamaño máximo nominal de 4.8 mm (#4), con relaciones agua-material cementante (a/c) de 0.35, 0.45, 0.55 y 0.65, y un mini-revenimiento (cono truncado de 10 cm de diámetro en la base, 5 cm de diámetro en la parte superior y 15 cm de altura) de 5 cm ± 1 cm.

Lo anterior dio como resultado ocho mezclas de mortero (4 sin FA, y 4 con FA), a las que se les determinó el contenido de aire atrapado en la mezcla fresca. Para cada una de las mezclas se fabricaron 10 especímenes cilíndricos de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, que fueron mantenidos en sus moldes por 24 horas en ambiente de laboratorio. Posteriormente fueron desmoldados y curados a 23±1°C y con una HR superior al 95%, por período de 28 días.

Antes de someter los especímenes al proceso de carbonatación, se hicieron pruebas de resistencia a la compresión, de absorción, de porosimetría y de permeabilidad al agua. También se realizaron mediciones de la alcalinidad de la matriz de mortero, a través de la medida del pH.

Pudo concluirse de este estudio que al remplazar el 25 % del CPO por FA tipo "F", en la producción de estos morteros se observa que la resistencia mecánica a la compresión es similar a los morteros sin FA. De igual manera, los morteros con FA manifiestan un incremento en la porosidad total para las cuatro relaciones a/c con relación a los sin FA, especialmente aquellos con alta a/c.

Los morteros con y sin FA presentan coeficientes de permeabilidad al agua del mismo orden de magnitud; adicionalmente, el efecto de la carbonatación produjo en ambos una reducción de la porosidad total. Puede advertirse cómo la disminución de alcalinidad debido a la carbonatación es menor en los morteros que contienen ceniza, comparados con los que no tienen.

El conjunto de resultados obtenidos a los 28 días de curado, indican que el uso de este tipo de puzolanas

requiere un mayor tiempo de reactividad para lograr desarrollar al máximo su actividad puzolánica. **C**

**Referencia:** P.L. Valdez-Tamez; A. Durán-Herrera; G. Fajardo-San Miguel; C.A. Juárez-Alvarado, "Influencia de la carbonatación en morteros de cemento Portland y ceniza volante", publicado en *RIIT*, vol. X, núm. 1, 2009 39-49, ISSN1405-7743 FI-UNAM.

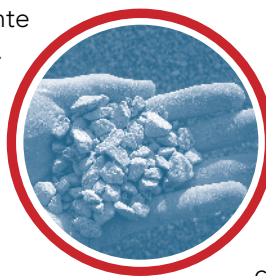
## ADICIONES

# Resistencias a la compresión inicial en concretos de ceniza volante

**L**a activación alcalina de materiales es un proceso químico en el que se produce rápidamente una transformación parcial o total de los componentes vítreos/amorfos del material en estructuras cementicias compactas. La activación alcalina puede dar lugar a dos tipos de materiales cementantes: compuestos basados en *Si/Ca* (Sílice/Calcio) y/o basados en *Si/Al* (Sílice/Aluminio). La activación del metacaolín y de la ceniza volante (FA), constituyen ejemplos típicos del último.

Se exponen los resultados de una investigación sobre la activación alcalina de cenizas volantes (AAFA); procedimiento singular donde el polvo gris de FA es mezclado con una solución alcalina (activadores alcalinos) y, tras un curado a temperatura moderada, se obtiene un material con propiedades cementantes.

El componente vítreo de la FA se transforma en un cemento bien compactado. En investigaciones previas se comprobó que el principal producto de la reacción formado en AAFA es un gel amorfo de aluminosilicato con características y propiedades de un "precursor zeolítico". De acuerdo con otras investigaciones, la cristalización de zeolitas puede ser el hipotético estado final de la ceniza activada alcalinamente. El orden a corto rango de este "precursor zeolítico" consiste en una estructura tridimensional donde el *Si* presenta una gran variedad de entornos. En estos sistemas también ha sido detectada la presencia de pequeñas cantidades de hydroxisodalite y herschelite, así como de otras zeolitas cristalinas.



Pueden encontrarse en la literatura datos sobre el desarrollo mecánico de pastas y morteros activados alcalinamente; sin embargo, existe escasa información sobre la fabricación de concretos de FA activada alcalinamente sin cemento Portland.

El propósito principal de este estudio fue determinar hasta qué punto los factores de diseño de la mezcla (proporciones, procedimiento de mezclado, tiempo y temperatura de curado, naturaleza y concentración del activador alcalino, relación disolución/ceniza, etc.) afectan a su fraguado y endurecimiento; así como al desarrollo a edades iniciales de resistencias a compresión de concretos de FA activados alcalinamente. En este aspecto se compararon los concretos de FA y los de OPC.

Se utilizaron dos cenizas volantes españolas tipo F y un cemento comercial (CEM I 52.5 R). Los principales componentes de la FA fueron óxidos de sílice y alúmina, y en el cemento Portland, óxidos de cal y sílice. Asimismo, fueron usados dos tipos de agregados locales: agregado silíceo grueso de tamaño de entre 6 y 12 mm, y arena silícea lavada de 0/5 mm. Para preparar las diferentes disoluciones activadoras definidas se utilizaron lentejas de hidróxido sódico y una disolución de silicato sódico ( $\text{SiO}_2=27,8\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O}=8,2\%$  y  $\text{H}_2\text{O} = 64\%$ )

Inicialmente, durante 3 minutos se mezcló en la amasadora la ceniza con el agregado en un caso y, en otro, el cemento con el agregado. Después se añadió el líquido hidratante (disolución alcalina para las cenizas, agua para el cemento Portland), cuya mezcla resultante fue amasada por 5 minutos. La mezcla en cada caso se vertió en un molde cilíndrico de cartón no reciclable de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto, con llenado en tres capas, que fueron consolidadas durante 15-20 segundos con un vibrador. Para cada ensayo se prepararon tres probetas.

Inmediatamente después del moldeado, las muestras se introdujeron en estufa y curadas en condiciones de humedad relativa alta (> 90%) a una temperatura y tiempo específicos. Luego fueron desmoldadas y guardadas a temperatura ambiente en el laboratorio hasta el ensayo de estimación de la resistencia a la compresión.

Los estudios sobre las variables que afectan a la elaboración de concretos de FA activada alcalinamente (sin cemento OPC) muestran el potencial de estos materiales para que puedan ser utilizados en

la industria de la construcción y, especialmente, en los prefabricados. Cabe decir que las propiedades de los concretos de FA activadas alcalinamente están influenciadas, al igual que las de los concretos convencionales, por un conjunto de factores relacionados con la dosificación de la mezcla y las condiciones de curado. No obstante, estos concretos permiten desarrollar muy elevadas resistencias a cortas edades (1 día), las que siguen progresando de forma más lenta con el paso del tiempo.

A nivel macroscópico las diferencias en la apariencia física entre un concreto de cemento Portland y uno alcalino de FA son prácticamente nulas. Las diferencias reales se encuentran a nivel microestructural y composicional. **C**

**Referencia:** Fernández-Jiménez, A.; Palomo, A., "Factores que afectan al desarrollo inicial de resistencias a compresión en hormigones de ceniza volante activados alcalinamente (sin OPC)", en *Materiales de Construcción*, vol. 57, 287, 7-22, julio-septiembre 2007, ISSN: 0465-2746.

## PUENTES

# El Vasco da Gama

**S**e trata de un puente atirantado que atraviesa el río Tajo en Portugal, que constituye el segundo cruce construido a través de este río, y adicionalmente el puente más grande de Europa (tiene una longitud de algo más de 17 kilómetros). La ejecución de la construcción de referencia, en gran medida se debe a la contribución de una agencia interministerial denominada: Gabinete para a Travessia do Tejo em Lisboa (Gattel), que presidida por el Ministerio de Obras Públicas, se formó para tomar una decisión acerca de la ubicación del nuevo cruce; así como para construir, financiar y operar el cruce, como una concesión privada.

En abril del año 1994, Lusoponte, un consorcio mixto de Portugal, Gran Bretaña y Francia, ganó la licitación para diseñar y construir la estructura principal del puente Vasco da Gama, así como de sus ramas de acceso. La construcción comenzó en febrero de 1995, y el puente se abrió al tránsito el 29 de marzo de 1998.

El puente fue construido rápidamente, de modo que el acceso a la Expo '98, desarrollada

entre otras cosas para celebrar la finalización de los 500 años del descubrimiento de una ruta marítima entre Europa y la India por Vasco da Gama, fue muy fácil.

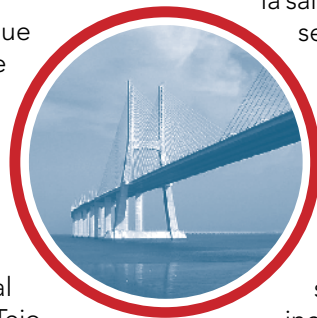
El puente atirantado tiene un vano central con una longitud de 420 metros de longitud por 203 metros de ancho; con una altura en las torres centrales, que se construyeron de concreto armado, de aproximadamente 150 metros; teniendo la cubierta del puente, una altura de 47 metros, respecto al nivel del agua. Toda la construcción del puente está dividida en siete secciones, mismas que se relacionan a continuación: la carretera de acceso norte, el Viaducto Norte (488 metros), el viaducto de la Expo (672 metros), el puente principal (claro principal de 420 metros y longitud total de 829 metros; con una altura libre para navegación de 45 metros), el viaducto central (aproximadamente 6.3 kilómetros), el Viaducto Sur (aproximadamente 3.8 kilómetros) y la carretera de acceso Sur (de casi 3,9 kilómetros; que incluye 18 puertas de peaje y dos zonas de servicio).

La sala de control de tráfico, que gestiona el tráfico en el puente Vasco da Gama, se ubicó en el edificio Plaza Toll; vehículos patrulleros, y elementos del sistema de gestión del tráfico y los servicios policiales y de emergencia, ayudan al personal de la sala de control para resolver las incidencias que se producen en el puente. Adicionalmente se construyó un puesto policial permanente en el puente, con el que se supervisa y controla, mediante 87 cámaras de video, todo el puente y sus ramas de acceso. La sala de control y el puesto de policía, monitorean las imágenes captadas por estas cámaras.

Otro sistema de gestión de tráfico que se incluye, es un detector automático de incidentes, que indica a los operadores si hay atasco de tráfico o no; además de semáforos y paneles de velocidad variables, el puente cuenta con 73 mensajes telefónicos de emergencia que se vinculan con el tráfico ambiente, instalados en ambas direcciones a lo largo de las ramas del puente y sus accesos.

El costo del proyecto del puente Vasco da Gama fue de 897 millones de euros, y fue financiado bajo el acuerdo de construcción-operación-transferencia, por el sector privado. **C**

**Referencia:** Adaptado y traducido de: "Vasco da Gama bridge, Lisbon, Portugal", <http://www.road-traffic-technology.com/projects/vasco-da-gama/>



# El vidrio como agregado

**L**os agregados del concreto convencional están compuestos de arena (agregado fino), y de varios tamaños y formas de grava o piedras (agregado grueso); sin embargo, hay un creciente interés en la sustitución de estos por agregados alternativos, principalmente como uso potencial de materiales reciclados.

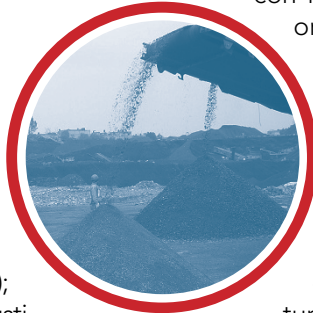
Si bien son diversas las investigaciones en torno a estos agregados alternativos (cenizas de carbón granulado, escorias de alto horno o de otros residuos sólidos, desechos de fibra de vidrio, plásticos granulados, productos y/o desechos de papel y madera, entre otros). Los más aplicados son los fragmentos de vidrio y los agregados reciclados provenientes de residuos de concreto.

No obstante que normalmente los agregados representan un 70 a un 80% del volumen de concreto, solía pensarse que como relleno inerte tenía poco efecto sobre las propiedades del concreto endurecido; sin embargo, diversas investigaciones han demostrado que los agregados, de hecho, juegan un papel importante en la determinación de la trabajabilidad, resistencia, estabilidad dimensional, y durabilidad del concreto. Además, de que estos componentes pueden tener un efecto significativo en el costo de la mezcla de concreto.

Ciertas propiedades de los agregados suelen ser importantes para el empleo ingenieril del concreto, como pueden ser la dureza, su resistencia, y hasta la durabilidad. El agregado para concreto debe estar "limpio", sin productos químicos absorbidos ni contenido de arcilla u otros materiales finos; que en determinadas concentraciones puedan alterar la hidratación y la adherencia con la pasta de cemento.

Es recomendable tener en cuenta la diferencia entre el agregado y el cemento, debido a que algunos materiales se han utilizado tanto como material cementante, como agregado (ciertas escorias de alto horno). En este caso solo se hace referencia a los agregados alternativos.

Los agregados provenientes de concreto reciclado, generalmente tienen una gravedad específica más baja y una mayor absorción que el agregado convencional. El concreto elaborado con agregados reciclados, normalmente tiene buena



trabajabilidad, durabilidad y resistencia a los ciclos hielo-deshielo. La resistencia a la compresión varía con la resistencia a la compresión del concreto original y con la relación agua-cemento del nuevo concreto. Se afirma en algunas investigaciones que el concreto elaborado con agregado reciclado, tiene por lo menos dos tercios de la resistencia a la compresión y del módulo de elasticidad del concreto elaborado con agregados naturales.

Por su parte, numerosos ensayos han demostrado que los residuos de vidrio triturado y tamizado pueden ser utilizados como un sustituto de la arena en el concreto. Algunos de los residuos de vidrio que se han utilizado como agregado fino son los cristales transparentes de ventanas "no reciclables" y las lámparas fluorescentes con cantidades muy reducidas de contaminantes. Las posibles aplicaciones de tales residuos de vidrio en el concreto son sendas para bicicletas, banquetas, cunetas, y otros. Cabe decir que la ausencia de información generalizada acerca de los agregados alternativos, puede dificultar su empleo. Para realizar un diseño consistente y duradero con concreto de agregado reciclado, es necesario realizar más ensayos que den cuenta de las variaciones en las propiedades de los agregados.

Aunado al hecho de que los agregados reciclados tienen una mayor absorción y menor gravedad específica que los convencionales, algunas investigaciones han revelado que la resistencia a la compresión del concreto de agregados reciclados a los 7 y 28 días es generalmente más baja que en un concreto convencional. Por otra parte, los agregados reciclados pueden estar contaminados con residuos de sulfato, provenientes del contacto con suelos ricos en sulfato, cloruros u otros contaminantes.

Por su parte, los agregados de vidrio en el concreto pueden ser problemáticos debido a la reacción álcali-sílice entre la pasta de cemento y este agregado, que con el tiempo puede conducir al debilitamiento del concreto y a la disminución de la durabilidad a largo plazo. Se han realizado investigaciones sobre varios tipos de vidrio y otros productos para detener o disminuir esta reacción indeseada; sin embargo, aún son necesarios más estudios antes de que los fragmentos de vidrio puedan ser utilizados en aplicaciones de concreto estructural. **C**

**Referencia:** Traducido y adaptado de: <http://www.toolbase.org/Technology-nventory/Foundations/concrete-aggregate-substitutes>