

CEMENTOS BELÍTICOS

Obtención a partir de CV tipo C

En la Unión Europea se producen al año más de 90 millones de toneladas de productos de la combustión del carbón (PCCs), de los que casi el 68% son cenizas volantes (CV). Esto significa preservar los recursos naturales, ofrecer un valor añadido a los materiales, elevar la durabilidad del concreto, y añadir un etiquetado verde al mundo de la construcción. Cada día se fomenta más el empleo de materiales secundarios como materia prima para la fabricación de cemento, lo que permite una construcción más sustentable con un importante ahorro energético, preservando las materias primas naturales, y reduciendo las emisiones de CO₂ al medio ambiente.



Los cementos belíuticos (CB) contribuyen también a la reducción de las emisiones de CO₂, debido al menor contenido de CaO requerido para la formación de la belita (2CaO.SiO₂), en comparación con el Portland tradicional. En particular, los cementos belíuticos de CV (CBCV), obtenidos a partir de CV tipo F y C, se fabrican en el laboratorio del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) en España, siguiendo una ruta hidrotermal-calcinación.

Se presentan en este escrito los resultados de una investigación desarrollada en el CSIC, en que se estudia un CB obtenido a partir de CV tipo C, de alto contenido de cal (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ < 70%); con una relación molar CaO/SiO₂. Se evaluaron la influencia de las condiciones de curado y del aditivo reductor de agua en la actividad hidráulica del material, durante 180 días a partir del mezclado; mediante la evolución del contenido de agua combinada y el grado de avance de la hidratación.

La resistencia mecánica, porosidad y distribución de tamaño de poro se estudiaron en probetas de mortero. Se prepararon probetas de pasta de 1 x 1 x 6 cm con agua desmineralizada, en una proporción agua-cemento (a/c) de 0.68 y con un aditivo reductor en proporción de 2% (por peso de cemento). Las pastas se curaron a 21 y 40 °C con una humedad relativa (HR)>95%, durante 180 días desde el mezclado.

En el caso de las resistencias mecánicas y los análisis de porosidad, fueron empleadas probetas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm, empleando un 100% del CBCV, con una relación arena-cemento 3:1 y a/c

de 1. Después de dos días se desmoldaron probetas y curaron a 21 °C (HR >95%). Una segunda serie de probetas de mortero fueron preparadas con el mismo aditivo en la misma proporción en peso de cemento. Fueron curadas a 21° C y 40° C en atmósfera saturada de humedad, con a/c de 0.85.

En general, se concluye de este estudio que el aditivo reductor aumenta las resistencias a compresión, principalmente a edades tempranas de hidratación (40% a 7 días), para un curado a temperatura ambiente. En el caso del curado a 40° C, las resistencias aumentan significativamente después de 7 días; pero decaen después de 90 días.

Se considera que la caída de resistencias es causada por la formación de la fase cúbica katoita [Ca₃Al₂(SiO₄)(OH)₈], procedente de la hexagonal stratlingita (Ca₂Al₂SiO₇.8H₂O). Esta conversión produce liberación de moléculas de agua y cambios en la morfología de los cristales (de hexagonal a cúbico), por lo que la distribución del tamaño de poro produce un aumento de los poros mayores (>1 μm) y una disminución de los menores (<0,1 μm). Las principales fases hidratadas formadas a una temperatura normal de curado son: C₂SH_{0,35}, monosulfoaluminato de calcio hidratado [Ca₄Al₂(SO₄)O₆.10H₂O] y stratlingita (Ca₂Al₂SiO₇.8H₂O); ambas de la familia estructural AFm, gel C-S-H (Ca_{1,5}SiO_{3,5}.xH₂O) y trazas de portlandita [Ca(OH)₂].

Con el curado a 40° C, las principales diferencias encontradas fueron: la formación de katoita [Ca₃Al₂(SiO₄)(OH)₈] a largas edades y la desaparición de portlandita, la ausencia de stratlingita, la formación de monocarbo-aluminato de calcio hidratado [Ca₄Al₂O₆(CO₃).11H₂O], quizás debido a la carbonatación del Ca₄Al₂(SO₄)O₆.10H₂O y la disminución del C₂SH_{0,35}.

En el caso del curado normal, con éste se obtiene una buena correlación entre los diferentes parámetros estudiados. La representación de la resistencia a compresión frente al grado de avance de la hidratación indica que como mínimo, se necesita un grado de hidratación de 0.20 para alcanzar resistencias. Del mismo modo, la tendencia de resistencia a compresión frente al contenido de agua combinada indica que, como mínimo, se necesita un 9% de agua combinada para alcanzar valores significativos de resistencias. **C**

Referencia: Goñi, S.; Guerrero A.; "Actividad hidráulica de un cemento belíutico obtenido a partir de cenizas volantes tipo C: influencia del aditivo y tipo de curado", en *Materiales de Construcción*, vol. 56, 283, 61-77, julio-septiembre de 2006, ISSN: 0465-2746.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Mediciones ultrasónicas

Las estructuras de concreto armado (partes fundamentales de muchas construcciones con problemas), se ven afectadas por daños que progresivamente van determinando la necesidad de una intervención para repararlas y/o reforzarlas. El modo de ejecución requiere de la evaluación y el diagnóstico previo del estado de la estructura considerada. La creciente necesidad de efectuar estas evaluaciones ha determinado que muchos códigos hayan normalizado ensayos no destructivos para obtener información concerniente a estructuras en lo que se refiere a sus defectos, durabilidad, estado de corrosión de las armaduras y resistencia de sus materiales constitutivos, entre los cuales generalmente se encuentra el concreto.

Esos datos brindan la posibilidad de proyectar soluciones estructurales más racionales. Por otro lado, esa información posibilita una evaluación más confiable sobre la seguridad de la estructura, tanto al momento de la primera inspección, como en condiciones finales, luego de haber sido la construcción reparada y/o reforzada.

La necesidad de conocer de modo fehaciente la condición de estructuras existentes que hayan sufrido algún siniestro o de algunas que vayan a cambiar de régimen de operación, ha impulsado la creciente utilización de los ensayos no destructivos. Como consecuencia de esto, en la actualidad se desarrollan nuevas técnicas de ensayo y se optimizan los ensayos conocidos para hacerlos más confiables y precisos. Publicaciones sobre el tema evidencian que es una preocupación de tecnólogos, calculistas e investigadores, quienes no han logrado hasta el presente métodos que se puedan considerar incuestionables.

Se exponen en este escrito los resultados de un estudio realizado en Argentina para obtener curvas de correlación "resistencia a compresión-velocidad de la onda ultrasónica" para los tipos

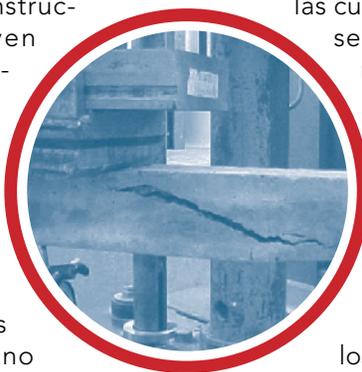
más comunes de concretos elaborados, en donde se trabajó con dos series de probetas cilíndricas de 15 x 30 cm de cada uno de los concretos en estudio. Las probetas fueron desmoldadas al día siguiente de haber sido llenadas, y conservadas en agua hasta el ensayo. Todas fueron ensayadas primero con ultrasonido para determinar la velocidad de tránsito de la onda ultrasónica, y luego a la compresión a fin de determinar la resistencia a compresión. Con estos resultados se obtuvieron las curvas de correlación, mediante las cuales se pudo evaluar, con más precisión, las resistencias de estructuras existentes sobre cuyas características mecánicas no existían datos fehacientes.

De esta investigación emergió que para la estimación de la resistencia de concretos normales, el método ultrasónico resulta ser uno de los ensayos no destructivos de más sencilla y rápida ejecución. Los resultados de los ensayos destructivos y no destructivos realizados mostraron dispersiones parecidas a las consignadas por otros autores en trabajos similares. Adicionalmente los resultados obtenidos, se encontraron dentro de los niveles de tolerancias aceptables.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que las determinaciones ultrasónicas en obra presentan variables (humedad del concreto, medición de espesores, contacto entre transductores y la superficie, etc.), que afectan los resultados de este método y que deben ser cuidadosamente evaluadas para una mejor utilización de este ensayo.

Se pudo comprobar además que la ecuación de correlación obtenida sigue las mismas tendencias que las propuestas por otros autores. Asimismo, ésta tiene validez solamente en los rangos de resistencias estudiados y para los materiales empleados; en particular para el tipo de agregado grueso, no debiéndose extrapolar. Dichas expresiones deben utilizarse para valores que están dentro de los resultados obtenidos en este trabajo; es decir, con una velocidad del pulso de entre 4,200 y 4,350 m/s. 

Referencia: Urtubey, E.; Schiava, R.; Cárdenas, M.; Del Estero., S, "Correlación de la resistencia a compresión entre rotura con prensa y ensayos de ultrasonido", en *Hormigonar*, año 6, No. 19, diciembre de 2009.



AGREGADOS

Poliestireno en la fabricación de concreto

El Concreto con Agregado de Poliestireno (CAP) es un concreto ligero con una buena capacidad de deformación, cuya aplicación se limita generalmente para uso no estructural debido a sus aparentes propiedades de baja resistencia. Sin embargo, dadas sus excelentes propiedades de capacidad de deformación, este material ha sido utilizado en la fabricación de varios elementos estructurales, tales como: paneles de revestimiento, muros no estructurales, sistemas de pisos compuestos, bloques de concreto para muros de carga, pavimentos, estructuras flotantes marinas, entre otros.

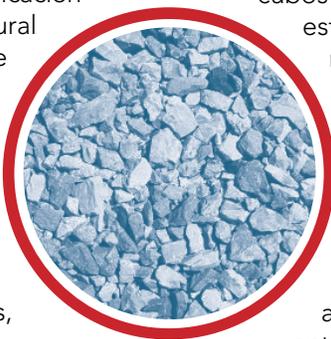
En general el CAP se fabrica con cemento, arena y esferas de poliestireno expandido ("perlas"), cuyos diámetros oscilan entre 1 y 6 mm; llegándose a obtener con este material densidades mayores a los 600 kg/m³.

Los primeros estudios sobre los CAP se llevaron a cabo entre los años de 1950 y 1960, en Alemania Occidental. En éstos, para superar la hidrofobicidad de las "perlas" de poliestireno, así como la segregación, se usó un agente de unión a base de una resina epóxica o de una dispersión acuosa de propionato de polivinilo para recubrir las "perlas".

El presente estudio, desarrollado en el departamento de Edificación y Construcción de la Universidad de Hong Kong, constituye un esfuerzo para evaluar una amplia gama de concretos con densidades que varían entre 1,400 y 2,100 kg/m³, y en donde se hace una sustitución parcial de agregado grueso por poliestireno.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar a nivel de laboratorio, concretos con diferentes contenidos de agregados de poliestireno, en lo que respecta a sus propiedades mecánicas y a la contracción por secado a largo plazo.

Se consideraron 5 tipos de mezclas, una mezcla de control y 4 mezclas de concreto en donde se tuvieron en cuenta adiciones de poliestireno, y en donde el agregado grueso convencional se sustituyó en proporciones de 20, 40, 60 y 80%



En el estudio se utilizaron "perlas" con diámetro medio y densidad aparente de aproximadamente 4 mm y 24 kg/m³, respectivamente, recubiertas con un compuesto químico no tóxico. Los restantes materiales utilizados en el estudio fueron: cemento Portland ordinario, arena de río con módulo de finura 2.75, y granito triturado con un tamaño nominal de 10 mm.

Con las mezclas en estudio se fabricaron varios especímenes de prueba. Para el estudio de la compresión desde un hasta 360 días, se conformaron cubos de 10 cm, así como para las pruebas de estimación de la resistencia a tensión y del módulo elástico se moldearon cilindros con 10 cm de diámetro y 20 cm de largo. Finalmente, para evaluar la contracción por secado desde 1 hasta 540 días se fabricaron vigas de 7.5 x 7.5 x 28.5 cm.

Después del desarrollo del estudio se pudo concluir que un CAP estructural con densidad oscilante entre 1400 a 2100 kg/m³, y resistencia a la compresión entre 13 y 40 MPa se puede concebir mediante la sustitución de parte de los agregados gruesos por "perlas" de poliestireno. Durante el estudio, macroscópicamente se pudo observar que el agregado de poliestireno mostró una distribución uniforme en el mortero y en la matriz de concreto; sin que se adicionara ningún agente especial de unión. En general, el CAP mostró una buena trabajabilidad y podría ser fácilmente compactado y acabado.

Por otra parte, debido a su baja capacidad térmica específica según fue verificado en un ensaye colorimétrico realizado, el CAP mostró mayores niveles de aceleración de desarrollo de la resistencia a edades tempranas que las de la mezcla de control; siendo esta situación más representativa en las mezclas con mayor proporción de poliestireno.

Como era de esperar; tanto la densidad del concreto, como la resistencia a la compresión, como el módulo elástico, se redujeron a medida que las proporciones de poliestireno fueron siendo mayores. En lo que respecta a las fallas de tensión y compresión, se pudo observar que en las muestras con agregado de poliestireno, no existió rotura frágil sino que por el contrario, se mostró una gran compresibilidad en el material.

También los niveles de contracción por secado en las mezclas con poliestireno, en las primeras edades, fueron mayores que en la mezcla de control, siendo las deformaciones unitarias por este concepto mayores, a medida que se incrementaron las proporciones de poliestireno en la mezcla. Sin

embargo, debido a las propiedades no absorbentes del poliestireno utilizado, los niveles de contracción reversibles en los CAP fueron menores a lo que se observaron en la mezcla de control. **C**

Referencia: Tang, W.C.; Lo, Y.; Nadeem, A., "Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete", en *Cement & Concrete Composites*, 30 (2008), 403–409.

ADICIONES

Adiciones al concreto y sus propiedades

(Parte I)

Producir cemento significa un elevado consumo de energía; por lo que encontrar un producto de desecho que pueda sustituir parcialmente en la fabricación del concreto, tiene un propósito medioambiental de máxima importancia.

La quema de carbón para producir energía eléctrica, así como también la producción de hierro en los altos hornos; son procesos que dan por resultado grandes volúmenes de productos de desecho. Las cenizas volantes de carbón, las escorias de alto horno y otros subproductos minerales pueden utilizarse como sustitución del cemento en las mezclas de concreto, con el consecuente ahorro de energía, la eliminación de un producto de desecho, la mejora de la calidad del concreto terminado y por supuesto, la reducción de su costo.

Estos productos en sustitución del cemento (adiciones minerales) deben ser diferenciados de los aditivos químicos usados en el concreto, tales como son los plastificantes e inclusores de aire, así como también de los sustitutos de agregados, como puede ser el vidrio molido. A continuación se comentan las propiedades de algunas de las adiciones más utilizadas actualmente en el sector constructivo.

Ceniza volante:

La ceniza volante es uno de los subproductos de la combustión del carbón para generar energía eléctrica, siendo el contenido de carbón en este

subproducto una preocupación importante. Las cenizas Tipo C, que se producen en gran cantidad al oeste de los Estados Unidos a partir de carbón lignito, contienen poco carbón; sin embargo, las Tipo F, producidas principalmente a partir de antracita y carbón bituminoso, lo contienen en cantidades significativas. Ambos tipos difieren respecto a otras propiedades como son: resistencia y color, entre otras. Asegurar un suministro constante de este producto, es una preocupación entre los proveedores de concreto.

Escoria:

Es un subproducto de la producción de hierro y acero en los altos hornos, y puede ser utilizado para la fabricación de concreto. Alrededor de 12.4 millones de toneladas de escoria de alto horno se utilizaron en los Estados Unidos en 1999, de los cuales 2 millones de toneladas fueron utilizadas en el concreto. Además, otros 1.1 millones de toneladas fueron importadas para ser usadas por la industria de la construcción. Nuevas plantas para procesar escoria importada se han venido instalando, debido a que la demanda del producto va en aumento mientras que la oferta ha decrecido. La energía adicional utilizada para el traslado y molienda de la escoria hace que en este proceso se ahorre un poco menos que en el de las cenizas volantes; sin embargo, resulta mucho menor que el que se sigue en el cemento Portland.

Humo de sílice:

Anteriormente fue un producto barato de desecho; pero al aumentar su demanda se ha convertido en una adición de elevado costo. Se utiliza principalmente para puentes y otras estructuras donde se necesite elevada resistencia y máxima durabilidad. El concreto fabricado a partir de humo de sílice resulta complejo, no sólo por el coste del material, sino también debido a la dificultad de manejo por la finura del material.

Ceniza de cáscara de arroz:

Siempre y cuando se controle la calidad, la ceniza de cáscara de arroz es otra adición que puede ser utilizada para el reemplazo del cemento en la elaboración de concreto. **C**

Referencia: Traducido y adaptado de: <http://www.toolbase.org/Technology-Inventory/Whole-House-Systems/cement-substitutes>

