

HISTORIA

Rompeolas romano

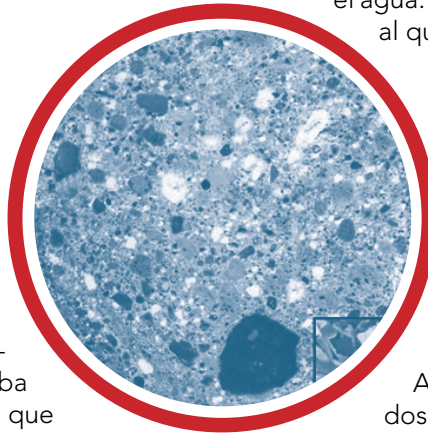
El equipo técnico de los Estados Unidos (integrado por los investigadores Marie Jackson de la Universidad de California en Berkeley, y Paulo Monteiro del Laboratorio Nacional estadounidense Lawrence Berkeley en California) concluyó que el cemento romano tenía una mayor durabilidad y conllevaba menos gasto en recursos energéticos que el cemento Portland fabricado hoy día, gracias a una mejor elección de los materiales utilizados.

Puede parecer paradójico que la evolución y el perfeccionamiento de la tecnología actual, salga perdiendo en comparación con una empleada en la Roma antigua de hace 2000 años. Sin embargo, es lo que han concluido los expertos tras analizar la calidad del concreto con el que se construyó el rompeolas romano ubicado en el antiguo puerto de Baiae, en la bahía de Nápoles.

Según el estudio, la durabilidad de este concreto es mayor que la del concreto que se fabrica en la actualidad, usando como conglomerante cementicio principal el cemento Portland. Otras referencias consultadas reportan que el concreto que se elaboraba en la antigua Roma (hecho con ceniza volcánica) era bueno y duradero; algo que ya sabían algunos sabios de la antigüedad, aunque desconocían de manera exacta las causas físicas y químicas de este particular. Hasta nuestros días han llegado evidencias de lo anterior. Por ejemplo, se sabe que Vitruvio (ingeniero del emperador Augusto) y el historiador Plinio el Viejo, dejaron por escrito que el mejor concreto para obras marítimas era el que se fabricaba con cenizas volcánicas provenientes de regiones del Golfo de Nápoles.

El estudio de la Universidad de Berkeley, encontró que la fabricación de este cemento de la antigüedad requería de menos calor en su proceso de fabricación: 900 °C frente a los 1.500 °C que en la actualidad es necesario para la fabricación del cemento Portland.

A mediados del siglo XX se diseñaron estructuras de concreto para que duraran 50 años. En la



actualidad, se diseñan para que duren de 100 a 120 años; sin embargo hay estructuras de la época del Imperio romano que han sobrevivido a 2000 años de ataques químicos y a la acción de las olas bajo el agua. Tal es el caso del rompeolas napolitano al que se hace referencia.

Por otra parte, el estudio desarrollado por los investigadores Jackson y Monteiro puntualiza que la industria cementera y el elevado gasto en combustible para alcanzar las temperaturas necesarias en el proceso, suponen el 7% de todas las emisiones de dióxido de carbono del planeta; emisiones que varias agencias internacionales dedicadas al Medio Ambiente han tratado de reducir en las dos últimas décadas.

En líneas generales, se advierte que el proceso químico que se empleaba en la antigua Roma para fabricar cemento era más eficiente, tanto por los materiales que empleaban, como por su proceso de fabricación. Mientras que en Portland se utilizó una mezcla de calcio, silicatos, e hidratos (C-S-H) como "aglutinante" para el compuesto, en Roma lo hacían con aluminio y una menor cantidad de silicio, lo que dio por resultado un aglutinante excepcionalmente estable (C-A-S-H). **c**

Referencia: Adaptado y traducido de: "El hormigón de la Antigua Roma era más eficiente que el actual", publicado en: "La Aventura de la Historia", Junio 2013, <http://www.laaventuradelahistoria.es/2013/06/05/el-hormigon-de-la-antigua-roma-era-mas-eficiente-que-el-actual.html>

SUSTENTABILIDAD

Diseño de materiales de construcción

Muchos países implementan estrategias sustentables en los procesos de producción industrial, debido a los problemas que han generado la contaminación y la degradación del medio ambiente. La industria de la construcción no se aleja de ello, y por tanto sus especialistas están conscientes de la importancia de evitar, mitigar y corregir el impacto ambiental que su actividad genera.

Se presentan en este escrito las generalidades de una revisión realizada en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) acerca del diseño sustentable aplicado a materiales de construcción, particularmente del concreto de cemento Portland.

El concreto de matriz de cemento Portland es utilizado en la actualidad en múltiples aplicaciones a nivel mundial, por ejemplo, en edificios, presas, puentes o pavimentos, entre otros usos. Cabe preguntarse de qué manera podríamos hacer sustentable este material. Los especialistas han ubicado la respuesta a esta interrogante en el hecho de buscar nuevos métodos, estrategias y prácticas sustentables para la elaboración del concreto, enfocándose principalmente en el manejo de las materias primas y en sus procesos de producción sin afectar sus propiedades y exigencias para determinada aplicación. Algunas prácticas sustentables y estrategias que se aplican en la producción del concreto se describen a continuación.

El uso de concreto celular con cemento Portland, agregados finos y aditivos en muros y techos. En este caso el hecho de que se requieran menos materias primas, afecta en menor medida al medioambiente en la extracción, transporte y fabricación del producto final. Sólo se tiene el inconveniente de que los niveles de resistencia mecánica de este concreto son menores que en el tradicional; sin embargo, se gana en resistencia térmica y acústica.

Otra buena práctica es la elaboración de concreto adicionado (con una cantidad oscilante entre un 15 y un 20% del volumen total de cemento) con cenizas volantes (CV), producto de la quema de carbón mineral para la producción de electricidad en algunas plantas termoeléctricas. Esta sustitución de parte del cemento tradicional por CV, induce a que se logren concretos de calidad similar a la de los concretos tradicionales.

La elaboración de concreto con base en cementos producidos en plantas que funcionan con energía renovable y/o alternativa, resulta otra alternativa aceptable, siendo en este caso importante que se tomen precauciones en lo que respecta a la producción de emisiones contaminantes.

Una alternativa investigada en la actualidad resulta el uso de concreto elaborado con agregados reciclados; opción que puede ser aplicable en la construcción con relativa facilidad y con un potencial

de mediano a alto, en lo que respecta al ahorro de materias primas. Con esto se beneficiaría tanto el costo del proyecto como el medioambiente, al reducirse la explotación de las canteras de agregados.

También el uso de agentes de curado para concreto basados en la semilla de soya, que actúan como protector/conservador del hidratante, o la limpieza de la superficie del concreto aparente por medio de técnicas que no empleen agua o energía (por ejemplo, el uso de cepillos especiales con lo que se reduciría la cantidad de agua y se evitaría el uso

de productos químicos), y el establecimiento de normas y/o métodos de selección del tipo de cemento para la elaboración de mezclas adecuadas de concreto sin que se afecten las propiedades necesarias, resultan aspectos de suma importancia para que se desarrollen prácticas sustentables.

En resumen, estas opciones o estrategias atienden básicamente a la reducción de la contaminación ambiental y están enmarcadas en los métodos básicos para el manejo y aprovechamiento sustentable de materiales de construcción.

Todas son prácticas sustentables en el manejo y aplicación de materiales que pueden realizarse para hacerlos a éstos más amigables con el medioambiente, utilizando la tecnología adecuada y los mejores métodos de selección y evaluación de materias primas a usar, desde el punto de vista constructivo. **C**

Referencia: Hernández Moreno S., "Diseño sustentable de materiales de construcción. Caso del concreto de matriz de Cemento Portland", en *Ciencia Ergo Sum*. vol. 15, núm. 3, noviembre-febrero 2008. Universidad Autónoma del Estado de México.



AGREGADOS

Puzolanas naturales para reducir la expansión álcali-agregado

La expansión excesiva del concreto, provocada por la reacción entre los iones hidróxilos liberados de compuestos alcalinos contenidos en la solución del poro del concreto y ciertas

fases minerales (principalmente en forma de sílice) de los agregados, causa esfuerzos internos que provocan agrietamiento y desprendimientos del recubrimiento de las estructuras de concreto. El producto expansivo se presenta en forma de un gel hidrato-gelatinoso. Este tipo de deterioro es estimulado cuando se presentan concentraciones mínimas de álcalis (Na y K) y ciclos de humedecimiento y secado, lo que causa que el fluido del poro sea absorbido por el gel, incrementando su volumen e induciendo a esfuerzos perjudiciales en la interface pasta-agregado.

Una alternativa viable para reducir las consecuencias de estas reacciones es el uso de puzolanas en el concreto. Las puzolanas contienen sílice reactiva, la que finamente dividida reacciona rápidamente con los álcalis de la solución del poro, disminuyendo el poder destructivo del gel en la matriz cementante. Sin embargo, la efectividad de esta vía es función de la cantidad de fase amorfa y de las características microestructurales de la puzolana.

En esta investigación, realizada en la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), se caracterizaron tres materiales puzolánicos naturales diferentes de origen ígneo, investigándose la relación existente entre las características físico-químicas particulares de cada material y su capacidad para disminuir la expansión deletérea producida por la reacción álcali-agregado.

Como material cementante primario se utilizó un cemento Portland ordinario con un alto contenido de álcalis. Como agente reactivo y haciendo la función de agregado fino en los morteros, se utilizó vidrio pírex triturado separado en varios tamaños.

Los materiales puzolánicos a estudiar provinieron de una búsqueda geológica nacional, en la que, después de un muestreo representativo fueron secados a 110 °C durante 24 horas, triturados, pulverizados y molidos hasta lograr que entre un 91 y un 93 % del material pasara la malla 325. Con estos materiales se fabricaron morteros: uno de referencia elaborado sólo con el cemento Portland, y tres morteros más con una sustitución del 20 % de la masa de cemento Portland, por las respectivas puzolanas naturales. Los morteros se produjeron con una relación agua-cementante de 0.47 y en proporción 1:2.25 de partes de cementante a partes de agregado pírex.



Para cada uno de los morteros se elaboraron especímenes de 2.5 x 2.5 x 28.5 cm, con una longitud efectiva de 25.4 cm. Fueron sometidos a condiciones extremas de exposición y se midieron sus cambios longitudinales producto de la reacción expansiva. En general, las puzolanas naturales utilizadas muestran un comportamiento satisfactorio para reducir la expansión álcali-agregado en barras de mortero sometidas a condiciones extremas de exposición. Se observa una relación directa entre las propiedades físicas, químicas y morfológicas de las puzolanas y su eficiencia para reducir la expansión. Los resultados indican que las puzolanas naturales reducen en más de un 40 % dicha expansión con relación a morteros que sólo contienen cemento Portland como material cementante. **C**

Referencia: Valdez T. P. L.; Fajardo S. G.; Hermosillo M. R.; Flores V. I., "Efectividad de las puzolanas naturales para reducir la expansión álcali-agregado", en *Ciencia UANL*, Universidad Autónoma de Nuevo León, vol. XI, núm 003, julio-septiembre, 2008, (ISSN 1405-9177, 2008).

DURABILIDAD

Concreto y ataque por sulfatos **(Segunda parte)**

El estudio de la CCAA (Cemento, Concreto y Agregados de Australia, por sus siglas en inglés), definido en edición anterior, consideró que a los 28 días las muestras de concreto fueron expuestas por inmersión completa en soluciones del 5% de sulfato de sodio, manteniendo un pH de 7 ± 0.5 y 3.5 ± 0.5 . El rendimiento del concreto fue medido en términos de la expansión de prismas de 7.5 x 7.5 x 28.5 cm, y de la retención de la resistencia en cilindros de 10 x 20 cm, expuestos durante un período de tres años a la solución de sulfato de sodio. La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días varió ampliamente, desde 45.5 hasta 75.5 MPa, de 32.5 a 64.0 MPa, y de 29.5 a 37.0 MPa; para relaciones agua/cemento (a/c) de 0.4, 0.5, y 0.65,

respectivamente, lo que refleja la influencia de los diferentes tipos de cementos.

Después de tres años de exposición, todos los concretos evaluados, elaborados con cementos resistentes a sulfatos (RS), y con a/c de 0.4 y 0.5 tuvieron buen desempeño, tanto en términos de la expansión como de la retención de la resistencia. Todos se comportaron estables en soluciones neutras y de sulfatos ácidos, con aumento en los niveles de expansión del orden de 220 micro deformaciones por año, y con retenciones de resistencia por encima del 100% de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Mientras que la mayoría de los elementos de concreto enterrado es probable que se mantengan húmedos durante toda su vida de servicio, algunas partes de estos elementos pueden estar expuestas a la humectación periódica y a condiciones de secado. Este es el caso de los elementos parcialmente enterrados. En este caso, un estudio de la PCA confirmó que la exposición a la inmersión y secado atmosférico alternos en suelos ricos en sulfato de sodio, es una condición de exposición más severa que la inmersión continua en la misma solución.

Todos los concretos elaborados con cemento RS tuvieron buen desempeño bajo inmersión en soluciones de sulfato de sodio, en condiciones tanto neutras como ácidas y con un contenido mínimo de cemento de 415 kg/m³ con a/c de 0.4, al igual que los concretos con baja a/c, que también se desempeñaron bien bajo la humectación severa y en condiciones de secado. Asimismo, se señala que en los concretos con a/c de 0.5 con un contenido mínimo de cemento de 335 kg/m³ y una protección adecuada de su superficie, también podría esperarse un comportamiento adecuado en una humectación más agresiva y con condiciones de secado.

Puede concluirse que la resistencia a los sulfatos del concreto es una función de su resistencia física y química a la penetración de iones de sulfato, y que una buena resistencia física del concreto es directamente proporcional a la relación a/c y al contenido de cemento. Por su parte, una buena resistencia química está relacionada con la resistencia de la matriz de cemento a las reacciones con sulfatos nocivos.

Un concreto resistente a sulfatos puede lograrse utilizando una cantidad suficiente de cemento RS, y una baja relación a/c, para obtener un concreto con baja permeabilidad al agua. Para estructuras de concreto completamente enterradas en suelos

saturados, un concreto resistente a sulfatos se puede lograr a partir de cemento RS con un contenido de cemento de 335 kg/m³ y una relación a/c de 0.5. Para las estructuras parcialmente enterradas, expuestas a condiciones de humedad y secado, puede utilizarse el mismo concreto resistente a sulfatos; pero con medidas adicionales de protección, tal como la aplicación de un sellador de superficie. Alternativamente, un concreto resistente a sulfatos puede lograrse usando cemento RS con un contenido de cemento de 415 kg/m³ y una relación a/c de 0.4.

En general, el reglamento australiano asociado a estructuras de concreto en suelos sulfatados ácidos (AS 3600) basadas en una resistencia a la compresión mínima y en el uso de cementos RS, especifica los requerimientos necesarios para elaborar concretos resistentes a sulfatos, sometidos a diferentes condiciones de exposición. De manera similar, podrían utilizarse las especificaciones de rendimiento de cementos RS y de concretos con límites de permeabilidad al agua, o con límites de permeabilidad rápida a sulfatos. **C**

Referencia: Cement Concrete & Aggregates Australia, "Sulfate-resisting Concrete", <http://www.ccaa.com.au>, mayo de 2011.

