



Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: evidaud@mail.imcyc.com



CONCRETO AUTOCONSOLIDABLE

Elaborado con agregados reciclados (Parte II).

SE PRESENTAN LOS resultados de una investigación desarrollada en la Universidad Nacional del Sur en Bahía Blanca, Argentina, en la que se estudió un Concreto Autoconsolidable (CAC), en el que se reemplazó el 50% del agregado grueso (canto rodado patagónico) por agregado reciclado, y el 20% del agregado fino (arena natural) por polvos de molienda resultantes de la trituración del concreto.

Se utilizaron dos aditivos experimentales reductores de alto rango y se estudió su compatibilidad con el cemento propuesto. Asimismo se evaluaron las propiedades de las mezclas frescas con ensayos que definen su autocompactabilidad y se determinaron propiedades físicas y mecánicas en estado endurecido, para evaluar la influencia de la incorporación de agregados reciclados en el CAC. Para la elaboración de las mezclas se utilizó cemento Portland normal, agua corriente, y dos tipos de agregado: natural (arena silícea de módulo de finura 2.42 y canto rodado de tamaño máximo nominal 12.5 mm) y reciclado, obtenido a partir de la trituración de concreto elaborado con canto rodado con agregado grueso reciclado de tamaño máximo nominal similar al canto rodado (12.5 mm), y un agregado fino reciclado con módulo de finura de 3.77.

Para completar el contenido de finos necesario en un CAC, se utilizó filler calcáreo y el polvo de molienda pasante por el tamiz de malla 0.149 mm (Nº 100), obtenido como fracción remanente en el proceso de trituración del concreto. Con estos materiales se dosificaron seis concretos distintos de relación agua-cemento (a/c) 0.50. Como se comentó, se utilizaron dos aditivos reductores de agua de alto rango (policarboxilatos modificados en base acuosa) denominados "S" y "H". Se trabajó con un concreto de referencia elaborado con canto rodado y arena natural. Luego se dosificó un concreto con canto rodado y un reemplazo del 50%, en volumen, del agregado grueso na-

tural por reciclado. Finalmente, se reemplazó el 20% del agregado fino natural por agregado fino reciclado.

Las propiedades básicas del CAC (fluidez, resistencia a la segregación, deformabilidad en estado fresco y viscosidad) se evaluaron y cuantificaron mediante ensayos normalizados, tales como: ensayo del cono extendido (ASTM C1611), ensayo del anillo J (ASTM C1621), ensayo de embudo en V, entre otros. En el caso del concreto endurecido se moldearon y curaron probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, para realizar los ensayos mecánicos de resistencia a compresión y tensión simple por compresión diametral (IRAM 1658). Se realizaron probetas cilíndricas de 10 x 20 cm para el ensayo de succión capilar y se determinó la capacidad y velocidad de succión capilar.

De los resultados obtenidos se pudo concluir que los dos aditivos estudiados resultaron compatibles con el cemento utilizado. La inclusión de agregado reciclado hizo necesario el uso de mayores dosis de aditivo que en las mezclas de referencia; debiéndose utilizar la dosis máxima del aditivo H para lograr un mismo ámbito de consistencia. Asimismo, se verificó una disminución en los valores de resistencia a compresión y tensión de las mezclas con aditivo S, a medida que se incrementó el reemplazo de agregado natural por reciclado.

La influencia del uso de agregados reciclados, tanto grueso como fino, resultó más significativa en el ensayo de tensión simple por compresión diametral. Los valores de resistencia a compresión para las mezclas con aditivo H y reemplazo de agregados reciclados resultaron similares al concreto de referencia, mientras que los de resistencia a tensión presentaron una leve disminución. Pudo corroborarse como factible la inclusión de polvos de molienda como agregado fino reciclado, de manera tal de lograr un aprovechamiento integral del material tratado; es decir, agregado grueso, arena y polvos. **C**

REFERENCIA:

Señas, L. y Priano, C. (2014); "Hormigón autocompactante con agregados reciclados", publicado en *Revista Hormigonar*, Edición No. 34, Año No. 10.



SUSTENTABILIDAD

Bio-concreto, un invento de hoy para el futuro

E L CONCRETO ES el material de construcción más popular del mundo, y desde que con él, los romanos construyeron el panteón hace unos 2 mil años, la humanidad ha tratado de encontrar variadas maneras de hacer que este sea más duradero.

No importa qué tan cuidadosamente se mezcle o se refuerce, todo el concreto eventualmente se agrieta, y bajo ciertas condiciones, esas grietas pueden dar lugar al colapso. "El problema de las grietas en el concreto son las filtraciones", explica el profesor Henk Jonkers de la Universidad Técnica de Delft, en los Países Bajos (Holanda). Si tienes grietas, el agua pasa a través de ellas, en tus sótanos, en un edificio de estacionamiento; luego, si esta agua llega hasta los refuerzos de acero y se corroe, la estructura (en casos extremos) se desploma, pero Jonkers ha ideado una forma completamente nueva de darle al concreto una vida más prolongada.

"Hemos inventado el bio-concreto; un concreto que se repara a sí mismo con el uso de bacterias", afirmó. El bio-concreto se mezcla como el concreto regular, pero con un ingrediente extra: el llamado agente de reparación, que permanece intacto durante la mezcla, y únicamente se disuelve y se activa si el concreto se agrieta y el agua penetra. Jonkers es microbiólogo y comenzó a trabajar en este tema en el año 2006, cuando un tecnólogo en concreto le preguntó si sería posible utilizar bacterias para fabricar concreto que pudiera autorepararse. Le tomó tres años descifrar el problema; pues se presentaron algunos retos difíciles de superar. "Necesitas bacterias que puedan sobrevivir a las duras condiciones del concreto", apuntó.

El concreto es extremadamente alcalino y las bacterias curativas deben esperar inactivas durante años antes de que se activen por medio del agua. Jonkers eligió las bacterias del bacilo para la investigación, ya que prosperan en condiciones alcalinas y producen esporas que pueden sobrevivir durante décadas sin alimento ni oxígeno. "El siguiente reto era que

las bacterias no solamente se activaran en el concreto, sino que también produjeran material para repararlo, y esa es la piedra caliza". Con el fin de producir piedra caliza, los bacilos necesitan una fuente de alimentación, el azúcar era una opción; pero añadir azúcar a la mezcla daría como resultado un concreto suave y débil", concluyó el especialista.

Finalmente, Jonkers eligió el lactato de calcio, lo colocó con las bacterias en cápsulas hechas con plástico biodegradable y añadió las cápsulas a la mezcla húmeda de concreto. Cuando las grietas se comienzan a formar, el agua penetra y abre las cápsulas biodegradables. Las bacterias posteriormente germinan, se multiplican y se alimentan del lactato, y al hacerlo combinan el calcio con iones de carbonato para formar calcita o piedra caliza, la cual cierra otra vez las grietas.

Actualmente, Jonkers aspira a que su nuevo concreto pueda ser el inicio de una nueva era, en el entorno de los edificios biológicos. "Se está combinando la naturaleza con los materiales de construcción. La naturaleza nos está suministrando mucha funcionalidad de forma gratuita; en este caso, las bacterias productoras de piedra caliza", puntualiza. Por último afirmó que "(...) si somos capaces de implementarla en los materiales, en realidad podemos beneficiarnos de ella, así que creo que este es un muy buen ejemplo de cómo unir los entornos de la naturaleza y de la construcción en un nuevo concepto". **C**



REFERENCIA:

Stewart, A. (2015). "Profesor holandés crea un 'concreto vivo' que se repara a sí mismo", publicado en: CNN, Edición Español, <http://cnnespanol.cnn.com/2015/05/15/profesor-holandese-crea-un-concreto-vivo-que-se-repara-a-si-mismo/>



CONCRETO LANZADO

Tecnología y control de calidad de al aplicarse por vía húmeda

LA APLICACIÓN DEL concreto lanzado o proyectado (shotcrete) se convierte para la Ingeniería Civil en una herramienta de gran valía; afirmación que se demuestra con elevada efectividad en las construcciones civiles de sostenimiento y revestimiento subterráneo (túneles) con las que interactúa este tipo de concretos; convirtiéndose en parte esencial del refuerzo estructural.

Se presentan en este escrito algunos lineamientos científicos – prácticos concernientes al diseño y control de calidad de los materiales componentes en este tipo de concreto, como resultado de una investigación desarrollada en Bolivia. Dichos resultados han sido sustentados en normas internacionales como ACI, ASTM, DIN, SIA, y respaldados por estudios especializados, con base práctica en empresas líderes en estas tecnologías.

En lo que concierne al diseño para que el shotcrete por vía húmeda sea durable y con la necesaria calidad, se recomienda una relación agua – material cementante que oscile en el rango de 0.35 a 0.40, con adición de polvos de cenizas (fly ash) o micro sílice, en rangos superiores a 2%, previa consulta con el fabricante. También se sugiere el empleo de aditivos reductores de agua o superplastificantes (rangos superiores a 0.5 %, también previa consulta con el fabricante), y aditivo acelerante (rangos entre 3 y 7 %, previa consulta con el fabricante). En este caso se sugieren los acelerantes libres de álcalis o en último caso, a base de aluminatos; que son menos dañinos. En cuanto a la trabajabilidad del concreto para una correcta aplicación, se sugiere flujo libre con diámetro mínimo de 50 cm en 3 segundos, y máximo de 65 cm en 6 segundos; referenciado al ensayo del Cono de Abrams normal en un rango de 15 a 20 cm.

En general se recomienda, para la correcta aplicación de un concreto proyectado por vía húmeda, el diseño de la mezcla siguiendo como guía los criterios y principios básicos del método

ACI 211.1, respaldados por otros métodos como O'Reilly y/o Faury, y manteniendo como factores indispensables los requerimientos de la norma ACI 506 (Guide to shotcrete) y de esta forma asegurar la calidad de la mezcla. Para su correcta puesta en obra debe generarse también un plan adecuado de control de calidad, acorde a las normas y reglamentos vigentes en cada país; en caso que no fuera este el caso, se deberá recopilar documentación de los códigos más representativos del tema. Vale recordar que esta técnica no es patrimonio

exclusivo de las obras subterráneas; sino que logrando adquirir lineamientos de diseño y control de calidad que acompañen los requerimientos mínimos de obra, puede ser aplicada a cualquier campo de la construcción que requiera el uso del concreto; tal es el caso de la construcción de piscinas y de fachadas.

De la misma manera en que para el control de la evolución de las resistencias tempranas, en este tipo de concretos es reco-

mendable hacer uso de la práctica recomendada por normas europeas, como la SIA; basadas en la pistola HILTI (5-10 MPa resistencia del concreto a edad temprana) o la aguja Proctor (0-5 MPa resistencia del concreto a edad temprana). Por último, igualmente se considera gravitante el correcto dimensionamiento para la utilización del equipo requerido para esta tecnología. Entre los equipos y materiales mínimos pueden recomendarse: bomba de concreto con sistema hidráulico a pistones y producción mínima de 12 m³/h, brazo robot con extensión y manejo a control remoto, diámetro de tuberías y mangueras de lanzado como mínimo requerimiento para agregados triturados con tamaño máximo de media pulgada y diámetro interno de 65 mm, compresor de aire con caudal de 14 m³/min (metros cúbicos por minuto) y presión de 5 a 7 Bares, y dosificador automático de aditivos con caudal de 300 lt/h (con preferencia calibrado o en su defecto, en los que puedan adecuarse curvas de calibración para el aparato, según el tipo de aditivo). **C**



REFERENCIA:

Eterovic Y. (2005), "Tecnología y control de calidad del concreto proyectado aplicado por vía húmeda", XV Jornadas Chilena del Hormigón.



CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS

Uso de concreto lanzado en la rehabilitación de una iglesia bautista

UN TESORO LOCAL que data de más de un siglo, la Iglesia Bautista Misionera Bethel, fue transformado en un parque público después de ser víctima de un incendio en el año 2007. La empresa contratista *Epoxi Design Systems* (Sistemas de Diseños Epóxicos) ha reutilizado gran parte de la estructura que queda como un pabellón del parque, para reflejar la arquitectura original de la iglesia, mediante el uso de concreto proyectado (Quikrete Shotcrete MS).

Originalmente el inmueble fue construido en el año 1889; de inicio la Iglesia Bautista Misionera fue muy importante para la comunidad, hasta que se sustituyó por un nuevo santuario en el año 1997. La iglesia vacía se quemó en el 2007 en un caso que hasta hoy continúa sin resolverse; varios años más tarde, la ciudad de Houston compró los restos de la construcción destruida, con planes para convertir la zona en un parque en memoria de la iglesia, la que se inscribe en el Registro Nacional de Sitios Históricos y es uno de los santuarios más antiguos de Houston.

Los trabajadores de la compañía contratista, como parte de un proyecto de reutilización adaptativa, eliminaron los elementos irre recuperables de las tres paredes que quedaron de pie, y realizaron reparaciones en el concreto estructural. Inicialmente la superficie de los elementos quedó reforzada con una malla de alambre, y luego se aplicó el concreto lanzado en un área superficial de más de 650 metros cuadrados. Además de los trabajos de renovación y de estabilización de la iglesia, el contra-

tista también incorporó diseños recuperativos en las paredes, también alrededor de las columnas, puertas y ventanas de vidrio; todos estos trabajos ayudaron en la recuperación del aspecto y del espíritu de la construcción. Hoy en día, los visitantes pueden sentarse en los atractivos bancos de ladrillo de la simbólica iglesia al aire libre; para así disfrutar de las vistas al parque adyacente.

Tal y como antes se comentó, el Quikrete Shotcrete MS es un material adicionado con microsilica mejorada, que se utiliza en la reparación y restauración, que puede llegar a alcanzar una resistencia a la compresión de más de 60 MPa a los 28 días. Además del rebote reducido, cuenta entre sus características fundamentales con una muy baja permeabilidad. Estos productos se pueden aplicar a través de un proceso de lanzado, que puede ser tanto por vía húmeda, como por vía seca. Con el empleo de este material se logra obtener una adecuada calidad que combina la elevada resistencia, con la alta adherencia, el reducido rebote y la reducida deformabilidad.

Las características referidas anteriormente, hacen de este producto el material ideal para la rehabilitación de puentes, túneles, estacionamientos, rampas, muelles, diques y otras estructuras de concreto. Este concreto proyectado ha sido utilizado en muchos proyectos de renovación y restauración, incluyendo el muelle del placer en Texas; también el producto se ha usado en algunas obras en la isla de Alcatraz, la carretera de Stanford en California y en los alrededores del río Spokane en Washington. **C**

El Quikrete Shotcrete MS es una mezcla cementicia de alta resistencia, para concreto lanzado, usada como material de reparación estructural, que se concibe a base de cemento Portland y se adiciona con microsilica, en la que se reduce significativamente el rebote.

Adaptado de: <http://www.quikrete.com/ProductLines/ShotcreteMS.asp>

REFERENCIA:

"Landmark Church Reborn, Shotcrete helps repurpose a burned structure as a park pavilion", publicado en *Concrete Construction*, http://www.concreteconstruction.net/shotcrete/shotcrete-repairs-for-historic-structure_o.aspx