

CONCRETOS RECICLADOS

# Límite a fatiga en CR estructurales

**E**n este escrito se exponen los resultados de una investigación desarrollada en el departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales, de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria en Santander, España. El propósito es valorar la influencia que tiene el uso de agregados reciclados en el comportamiento a la fatiga de concretos reciclados. Se evaluó el grado de sustitución óptimo de agregado natural por agregado reciclado a la hora de diseñar concretos estructurales.

El Concreto reciclado (CR) es aquél en el cuál se realiza una sustitución parcial o total de los agregados que conforman su esqueleto pétreo por otros materiales susceptibles a ser reutilizados. Para fines de este estudio se entiende por Agregado reciclado (AR), el obtenido mediante el procesamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).

En esta investigación se estudiaron remplazos del 0% (mezcla de referencia), 20%, 50% y 100% del agregado grueso natural calizo de un concreto convencional por AR obtenidos, en su mayor parte, por la trituración de residuos de concreto estructural procedentes de demoliciones.

La técnica experimental utilizada fue desarrollada a partir de una propuesta, en la que se aplican cargas crecientes hasta que los parámetros medidos indiquen que se ha superado el Límite de Fatiga (propuesta de Locati). La metodología recoge la realización de un ensaye, sobre una única probeta con intervalos de cargas suficientemente pequeños; a fin de desarrollar, en torno al escalón de rotura, una metodología que permita determinar con mayor rigor, mediante el método Staircase, el límite de fatiga correspondiente.

Para realizar los ensayos se fabricaron 56 probetas cilíndricas normalizadas de 15 cm de

diámetro por 30 cm de altura, repartidas en 4 dosificaciones con los distintos grados de sustitución de agregado grueso por AR ya mencionados. Todas las probetas fueron "cabeceadas" con mortero de azufre, e instrumentadas con dos galgas extensométricas colocadas a 180°, con el propósito de llevar a cabo 8 ensayos de compresión simple, 12 bajo cargas de compresión cíclicas escalonadas según el método Locati, y 32 según el método Staircase.

En los ensayos de fatiga "Locati", se detectó un aumento de la deformación máxima en cada uno de los niveles; aumentando la pendiente de la recta de cada uno de los escalones hasta el momento del colapso. Además, se puede relacionar la pendiente de la deformación máxima con el número de ciclos para los cuales el concreto es competente.

El CR presentó, en términos generales, mejores prestaciones mecánicas frente a los ensayos de compresión simple, debido a las mejores características de la pasta de cemento. Sin embargo, esta particularidad no se vio reflejada en los ensayos mecánicos de fatiga a compresión, debido a la naturaleza de los AR y al tamaño de los poros de la pasta de cemento nueva. Asimismo, la deformación máxima de los CR fue mayor que la de la mezcla de referencia.

El valor obtenido del Límite a Fatiga por el método Staircase pudo identificarse en las curvas de pendiente de la deformación máxima frente a carga, obtenidas mediante el método Locati, validándose de esta forma la metodología que se utiliza. Cabe decir que en términos generales, se encontró una mejora en las resistencias a compresión y en el módulo elástico dinámico de los concretos con mayor grado de sustitución, determinándose las energías disipadas y almacenadas, encontrándose, no obstante, que para el caso de los concretos con sustitución total por AR, que la rigidez se ve reducida y que la resistencia frente a cargas cíclicas aumenta. **C**

**Referencia:** Thomas C.; Carrascal I.; Setién J.; Polanco J. A., "Determinación del límite a fatiga en hormigones reciclados de aplicación estructural", Anales de Mecánica de la Fractura, núm. 26, Vol. 1 (2009).



## CONCRETO AUTOCOMPACTABLE

# Efectos de la temperatura sobre la reología y otras propiedades

**E**l Concreto Autocompactable (CAC) constituye probablemente el mayor desarrollo de la tecnología del concreto en los últimos 20 años. Se define como un concreto capaz de fluir en el interior de las cimbras y pasar a través del armado, logrando la compactación por la acción de su propio peso, sin presentar signos de segregación.

Las condiciones ambientales pueden favorecer la variabilidad de las propiedades en estado fresco del CAC y consecuentemente, afectar la calidad durante la producción. Aunque en general se recurre a ensayos de tipo ingenieril para valorar sus características, los estudios reológicos posibilitan una mayor comprensión de su comportamiento contribuyendo de este modo, a un diseño más racional del material.

En términos reológicos un CAC se caracteriza por poseer tensión umbral de cizallamiento ( $t_0$ ) muy baja y una viscosidad plástica ( $\mu$ ) capaz de garantizar el transporte, llenado, y posterior endurecimiento del material, sin segregación. En este escrito se presentan los resultados de un amplio programa experimental, en donde se analizaron las características reológicas del CAC y su relación con los ensayos de tipo ingenieril; evaluándose en particular el efecto de las temperaturas del concreto y del ambiente sobre las propiedades del CAC.

Las propiedades en estado fresco son determinantes en un CAC, pues de ellas depende la calidad final de los elementos estructurales. La fluidez, la capacidad de paso y la resistencia a la segregación son fundamentales; pero en general, las dos primeras se oponen a la última. Un CAC requiere una adecuada combinación entre la  $t_0$  y la  $\mu$  para lograr movilidad sin riesgos de segregación. En mezclas muy viscosas se requiere una  $t_0$  prácticamente nula, mientras que en un CAC de baja  $\mu$  es conveniente que dicho parámetro aumente. Según la literatura especializada, una combinación en donde ambos parámetros ( $t_0$  y  $\mu$ ) son extremadamente bajos, podría traer consigo riesgos de segregación.



El estudio realizado estuvo basado en dos tipos de CAC que difieren principalmente en el tamaño máximo de agregado (12 y 20 mm). Ambos fueron elaborados empleando arenas y gravas trituradas, cemento Portland, filler calizo, y un aditivo superplastificante de tipo policarboxílico. La relación agua/(cemento+filler) fue de 0.38 y la relación filler/cemento de 0.30. La resistencia media a compresión a los 28 días fue de 46.4 y 42.6 MPa para el CAC de 12 y 20 mm, respectivamente.

El comportamiento reológico fue evaluado mediante un viscosímetro para concretos, que proporciona como resultado pares de valores momento torsor-velocidad de giro que se obtienen a velocidades decrecientes. A partir de los mismos, un software calcula la tensión umbral y la viscosidad plástica; aplicando el modelo de Bingham.

En forma simultánea a las medidas con el viscosímetro, se realizó el ensayo de escurrimiento, obteniéndose como resultado el diámetro de escurrimiento y el tiempo en alcanzar un diámetro de 50 cm; también fue posible medir el tiempo de vaciado en el embudo en V.

Se trabajaron dos series, una en la que se estudió el efecto de la temperatura de elaboración sobre las propiedades del CAC; la otra en la que se analizó el efecto de la temperatura ambiente sobre los cambios en las propiedades del concreto; durante los primeros 90 minutos posteriores al mezclado.

Con esta investigación se verificó que la temperatura del concreto puede constituir una causa importante de variabilidad en el CAC, en mezclas fabricadas a distintas temperaturas y con las mismas proporciones de materiales componentes. Se observó una mejor respuesta reológica en el CAC con temperaturas intermedias (en el entorno de 20°C) que en los concretos con temperaturas extremas (cercanas a 10° ó a 40 °C). Asimismo, quedó comprobado que los parámetros reológicos pueden variar significativamente durante los primeros 90 minutos por el efecto de la temperatura ambiente. Los resultados de los ensayos ingenieriles, como el escurrimiento o el embudo en V, mostraron tendencias similares. **C**

**Referencia:** Zerbino R.; Barragán B.; García T.; Agulló L.; Gettu R., "Efectos de la temperatura sobre los parámetros reológicos y propiedades ingenieriles del concreto autocompactante", en CIENCIA FIC, Revista de Divulgación Científica y Tecnológica, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, núm. 3, Septiembre-diciembre 2007.

ADICIONES

## Escoria de ferroaleaciones para la elaboración de concretos

**D**urante algunos años se han investigado las escorias de alto horno debido a su adecuado comportamiento en matrices cementantes, principalmente por sus propiedades hidráulicas; las cuales han sido recicladas como adición activa en cementos Portland comerciales.

En la actualidad, una nueva generación de escorias se ha estado produciendo, utilizando como tecnología el horno de arco eléctrico, que es más competitivo; pero cuyos residuos presentan mayores problemas para su reciclado y reutilización. Una de las formas de reciclado de estas escorias es precisamente como agregado de reciclado.

Se exponen en este documento los resultados de un estudio de viabilidad de la fabricación de concretos realizado en España, entre el Instituto de Ciencias de las Construcción Eduardo Torroja y Ferroatlántica (División de Ferroaleaciones, Santander). En ésta se evalúa la sustitución del 100% del agregado, por escorias de silico-manganeso (SiMn), que se producen en grandes cantidades en este país, y que son depositadas en vertederos pertenecientes a las propias industrias o a las administraciones públicas. Los materiales utilizados en el estudio fueron: cemento Portland y escoria de SiMn enfriada al aire. Esta adición presenta un alto contenido en óxidos de sílice y calcio; cuyo componente cristalino principal es un silicato magnésico cálcico (akermanita).

Las muestras de escoria presentaban gran tamaño, en forma de losas o plaquetas, por lo que para su empleo, como adición al concreto, se procedió a su trituración utilizando una trituradora de mandíbulas, secándose y homogeneizándose posteriormente. A continuación se clasificó de acuerdo a EN 12620:2002 con un tamaño de



partículas comprendido entre 4 y 20 mm, para su uso como agregado grueso. El agregado fino se clasificó según EHE: 1999, con una granulometría comprendida entre 0.063 y 4 mm.

Se realizó un estudio teórico de la dosificación del concreto a elaborar mediante la Curva de Bolomey, elaborándose probetas con relación agua-cemento (a/c) de 0.63. El concreto elaborado exhibió consistencia fluida, con un revenimiento por cono de Abrams de entre 6 y 9 cm, según la norma UNE 83313-90 y con una cantidad fija de cemento de 325 Kg/m<sup>3</sup>.

La proporción óptima en porcentaje relativo de los agregados que constituyen la mezcla, cuya curva granulométrica se adapta de una manera aproximada a la curva de Bolomey, fue la siguiente: cemento con un 13% y agregados finos y gruesos con 33% y 54%, respectivamente. Se fabricaron probetas cilíndricas con dimensiones de 7.5 x 15 cm, en las que se usó una revoladora de eje vertical. Las probetas se mantuvieron en sus moldes en ambiente de laboratorio de 21 ± 1°C y 55% de HR. Una vez extraídas del molde, después de 24 horas desde el momento de su fabricación, fueron sumergidas en agua hasta el día del ensayo.

En general, puede resumirse de los resultados que la escoria de SiMn es apta para su empleo como adición al concreto, y que el 100% de los agregados (gruesos y finos) comúnmente utilizados, puede ser sustituido por este material.

Entre las principales ventajas destacan que no se producen reacciones álcali-agregados y que, adicionalmente, esta adición proporciona una alta resistencia al desgaste. En general se tienen adecuados valores de coeficiente de forma y de absorción de agua (para agregados finos y gruesos); así como también se logran magnitudes de resistencia a la compresión del concreto mayores a 40 MPa, que pudieran ser superiores a los que comúnmente se alcanzan con los agregados tradicionales. **C**

**Referencia:** Frías M.; García de Lomas M.; Sánchez de Rojas M. I.; Menéndez I.; Rincón López J. M.; Rodríguez C., "Viabilidad de una escoria de ferroaleaciones para la elaboración de concretos", en 1as Jornadas de Investigación en Construcción, Madrid, junio 2005.

## Concreto y ataque por sulfatos (Primera parte)

**S**e describen en esta nota técnica los mecanismos de ataque químicos y físico-químicos de sulfatos externos sobre el concreto; que se sustenta en una investigación desarrollada por CCAA (Cemento, Concreto y Agregados de Australia, por sus siglas en inglés). Se estudiaron mezclas de concretos australianos, elaborados con cementos resistentes (RS) y no resistentes a sulfatos (nRS), que fueron evaluadas en condiciones neutras y en presencia de sulfatos ácidos.

En general, los sulfatos se pueden desarrollar de manera natural en el suelo, las aguas subterráneas, en los efluentes industriales, y en los desechos químicos y mineros, así como también en el agua de mar. Los suelos con sulfatos ácidos se asocian a los suelos con sedimentos que contienen sulfuros de hierro; que normalmente se encuentran en los manglares, en la vegetación marítima (zonas de marea baja), también en las partes bajas de llanuras aluviales, zonas costeras, ríos y arroyos.

El deterioro del concreto expuesto a sulfatos es resultado de la reacción química de la matriz de cemento, con agentes agresivos que penetran en su interior; siendo las principales reacciones involucradas: la formación de etringita y de yeso, y la descalcificación. Estas reacciones químicas pueden conducir a la expansión y al agrietamiento del concreto, y/o la pérdida de resistencia y de las propiedades elásticas del mismo.

La forma y extensión de los daños en el concreto dependerán de la concentración de sulfatos, del tipo de cationes (sodio o magnesio) en la solución de sulfato, del pH de la solución, y por supuesto de la microestructura de la matriz de cemento endurecido. Algunos cementos son más susceptibles al sulfato de magnesio que al sulfato de sodio; siendo el mecanismo clave, el remplazo del calcio en el silicato de calcio hidratado que forma parte de la matriz de cemento, lo que conduce a una pérdida de las propiedades de unión de la matriz.

La formación de brucita y de silicato de magnesio hidratado, es indicativo de dicho ataque. Tanto la resistencia física a la penetración y a la migración

capilar (inducida por agentes agresivos), como la resistencia química a las reacciones perjudiciales; son atributos importantes del concreto resistente a sulfatos. Esta es la razón por la que los factores que influyen en la permeabilidad y porosidad de la superficie del concreto y en la resistencia química del cemento, son los parámetros principales de desempeño del concreto expuesto al ataque de sulfatos.

La resistencia física del concreto se consigue mediante la especificación de parámetros de diseño de mezclas, tales como: relación agua-cemento (a/c) y contenido de cemento. Por otro lado, la resistencia química se logra mediante el uso de cementos resistentes a sulfatos; enfoque que en general es adoptado por muchos de los códigos más reconocidos a nivel internacional. Conviene acotar que el papel de la calidad del concreto en la resistencia, respecto a los ataques químicos y físico-químicos por sulfatos, ha sido estudiado por investigadores de la Asociación del Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), quienes han encontrado que una exposición prolongada de muestras de concreto en inmersión continua en una solución de sulfato, es una condición relativamente menos dañina; respecto a la condición de humectación y secado cíclico.

En el año 2002, CCAA inició un proyecto de investigación que culminó en 2010, para desarrollar una especificación basada en el desempeño de concretos resistentes a sulfatos. Se proporcionaron 19 mezclas con 6 tipos de cementos RS, así como otros dos cementos nRS. En la investigación se consideraron relaciones a/c de 0.4, 0.5 y 0.65; así como contenidos de cemento de 415, 335 y 290 kg/m<sup>3</sup>. Las mezclas se diseñaron usando aditivos químicos; de forma tal que se tuvieran revenimientos de 12 ± 2 cm.

Los especímenes fueron sometidos a curado húmedo por 3 días, manteniéndose en el laboratorio hasta los 28 días, limitándose así la profundidad del frente de carbonatación al inicio del proceso de exposición a sulfatos.

En este estudio se hicieron pruebas a 28 días de estimación de la resistencia a la compresión, de permeabilidad a sulfatos (rápida) y de permeabilidad al agua. Los resultados de estos estudios serán comentados en la segunda parte de este escrito. **C**

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

