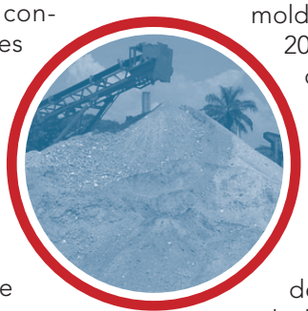
AGREGADOS RECICLADOS

Reciclado de concreto sin preselección en origen

Dentro de los residuos de construcción y demolición, los desperdicios de concreto procedentes de demoliciones destacan por el volumen que ocupan al ser llevados a depositos, favoreciendo el agotamiento temprano de los rellenos sanitarios. Ante ello, su reciclado es de importancia prioritaria en las políticas de preservación medioambiental de muchas ciudades.



En este escrito se presenta una síntesis de los resultados de un estudio que atiende las necesidades planteadas en una ciudad de Argentina, en donde se ofrecen los resultados de ensayos de laboratorio a concretos elaborados por la combinación de agregados naturales con reciclados provenientes de la trituración de residuos de concretos destinados al relleno sanitario, de procedencia y calidades diversas, y no preseleccionadas.

El concreto de desperdicio se fraccionó con una trituradora. De este proceso se obtuvieron tres tamaños de agregados, en función de sus tamaños máximos (TM) (37.5, 25.4 y 9.5 mm). Esta última fracción se descartó para su empleo en concreto estructural debido al elevado porcentaje de mortero adherido. Como agregados naturales se emplearon arena silícea mediana de río y dos tamaños de grava triturada de origen granítico.

Tanto los agregados naturales como los reciclados utilizados fueron sometidos al Ensayo de Desgaste de los Ángeles, registrándose para la grava triturada una perdida de la abrasión del 16.90% y para el agregado reciclado del 41.94%. Para la elaboración de los concretos se utilizó cemento Portland y agua, y no se empleó ningún aditivo químico.

Se elaboraron tres concretos con agregados reciclados sobre la base de un concreto de referencia, elaborado con agregados naturales. Este último se diseñó de 25 MPa, con un contenido de cemento de 350 Kg/m³, una relación agua/cemento (a/c) de 0.50, y un revenimiento (medido con el cono de Abrams) dentro de la escala de consistencia media (5 a 10 cm).

Por cada concreto se elaboraron 15 probetas cilíndricas (15 x 30 cm) en tres conjuntos de igual composición (de cinco probetas cada uno), a fin de evaluar la desviación del producto de la elaboración por separado. En grupos de tres probetas se ensayaron a compresión simple por cada tipo, a las edades de 7, 28 y 60 días. También se ensayaron a tensión por compresión diametral tres probetas por cada tipo a los 28 días. Otras probetas fueron ensayadas para determinar el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson. Asimismo, se moldearon cuatro probetas prismáticas (7 x 7 x 20 cm), una por cada tipo de concreto; para su corte y observación mediante lupa estéreo binocular.

Los estudios realizados ratifican experiencias similares de otros investigadores, comprobándose que es posible aprovechar para uso estructural los concretos recuperados de demoliciones o desechos. Por su parte, el empleo de ácido clorhídrico concentrado demostró ser una alternativa sencilla, efectiva, y económica para la determinación aproximada del porcentaje de mortero adherido a los agregados reciclados de origen granítico. Pudo constatarse además que la determinación de la absorción temprana (5 y 10 minutos) en los agregados reciclados, aporta información importante para regular la consistencia de los concretos.

En esta investigación no se contemplaron aspectos relacionados a la durabilidad, tales como contenido de sustancias nocivas en agregados, permeabilidad al ión cloruro, penetración del agua a presión o absorción del concreto endurecido; por lo que al decidir su empleo con fines estructurales, se recomienda, según las aplicaciones, profundizar en estos estudios mediante el desarrollo de ensayos y de análisis complementarios.

Los resultados obtenidos ofrecen a la sociedad local de la zona de estudio las posibilidades de reutilización de un residuo noble, cuyo destino actual fundamental es el relleno sanitario de la ciudad, con las ventajas medio ambientales y socioeconómicas que de ello se derivan.

Referencia: Tonda M.; Begliardo H.; Panigatti M. C., "Reciclado de hormigón sin preselección en origen", en *Hormigonar Revista de la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado*, año 6, edición 18, septiembre 2009.

CONCRETOS ESPECIALES

Concreto de Alta Resistencia: Breves apuntes

A principios de 1970, los expertos predijeron que el límite práctico probable en la resistencia a la compresión del concreto premezclado, no podría ser superior a 76 MPa. En las últimas dos décadas, el desarrollo del Concreto de Alta Resistencia (CAR) ha permitido a los constructores cumplir y superar fácilmente esta estimación. Un ejemplo de lo anterior lo constituyen los edificios construidos y que se construyen, en muchas partes del mundo, en donde el concreto puede llegar a tener niveles de resistencia a la compresión de más de 130 MPa.

La principal diferencia que existe entre el CAR y el concreto de resistencia normal es el nivel de esfuerzo a compresión que se absorbe ante una presión determinada. El ACI (American Concrete Institute, por sus siglas en inglés) define al CAR como aquel en donde el nivel de la resistencia a la compresión es mayor o igual a 41 MPa.

La fabricación de CAR implica la utilización óptima de los componentes básicos de una mezcla de resistencia normal. Los productores de CAR conocen los factores que afectan la resistencia a la compresión; por lo que saben cómo manipular esos factores para conseguir los niveles de resistencia a la compresión requerida. Por otra parte, utilizando cementos Portland de alta calidad, los productores de concreto logran optimizar los otros agregados, para con ello optimizar también la proporción de materiales mediante la variación de las proporciones de cemento, agua, agregados, y el uso de aditivos químicos.

Al seleccionar los agregados para la fabricación de CAR, los productores toman en cuenta la resistencia y la granulometría de los agregados, la matriz entre la pasta de cemento y el agregado, así como las características superficiales de estos últimos. Cualquiera de estas propiedades podría limitar la resistencia última de un CAR.

Las cenizas volantes y el humo de sílice, son algunas de las adiciones minerales más comúnmente utilizadas en la fabricación de CAR. Estos materiales proporcionan resistencia adicional al concreto; debido a la reacción de éstos con los productos de la hidratación del cemento Portland, en donde adicionalmente se crea gel C-S-H, que es la parte de la pasta responsable de la resistencia del concreto.

Sería difícil producir mezclas de CAR sin utilizar aditivos químicos. Así, una práctica común es el uso de aditivos superplastificantes, en combinación con aditivos retardantes, reductores de agua. El aditivo superplastificante proporciona la trabajabilidad adecuada cuando las relaciones agua-cemento son bajas, lo que permite que se logren concretos con mayores resistencia a la compresión. El retardante, reductor de agua, como su nombre lo indica retarda la hidratación del cemento; dando el tiempo necesario para que se terminen los trabajos de colocación de la mezcla.

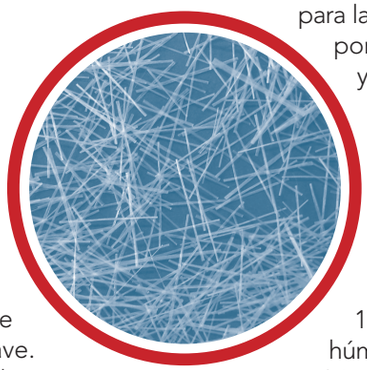
El uso del CAR se justifica cuando se requiere reducir el peso de la edificación, o cuando las consideraciones arquitectónicas requieren de una distribución más espaciada de los apoyos en la planta de la edificación. De acuerdo a lo anterior, en general, la distribución de cargas en los elementos de CAR es mucha más eficiente que en los de concreto de resistencia normal, lo que de alguna manera podría inducir a la reducción del tamaño de las secciones útiles en los elementos estructurales, lo que por supuesto, reduce a su vez el costo total de la construcción.

El uso más común de CAR está en la construcción de edificios de gran altura. Un ejemplo de estas construcciones es el edificio Chicago 311 South Wacker Drive, en donde se utilizó concreto de hasta 83 MPa, que con 295 metros constituye uno de los edificios de concreto más altos de los Estados Unidos. C

Referencia: Adaptado y traducido de: "High-Strength Concrete", publicado en *Cement & Concrete Basic,* de la Portland Cement Association.
http://www.cement.org/basics/concreteproducts_histrength.asp

FIBRAS

Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto



Aunque históricamente muchas fibras han sido usadas para reforzar varios materiales de construcción, es hasta años recientes que los científicos han estudiado las fibras naturales como refuerzo. México es un país que posee abundante producción de estas, sobre todo las de la familia del agave. De esta familia la más conocida es el sisal, otras especies son el maguey y la lechuguilla.

Se presentan en este escrito los resultados de una investigación en la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), en la que se estudian algunos tratamientos adecuados en la fibra de lechuguilla que permitan aumentar la durabilidad del concreto, reduciendo el deterioro que esta sufre en el medio alcalino propio del concreto.

Se realizaron pruebas a las fibras y ensayes a especímenes de concreto reforzado con fibras naturales (CRFN). Para la caracterización de las fibras se obtuvo su diámetro, longitud promedio, porcentaje de absorción de agua, densidad absoluta y porosidad. También se observó su morfología con micrografías de la sección transversal. Las propiedades mecánicas obtenidas fueron el esfuerzo último a la tensión y la elongación a la ruptura. Para minimizar el deterioro de las fibras se impregnaron estas con seis sustancias repelentes al agua, económicas que no dañaran al concreto (aceite de linaza, parafina, sellador para madera y creosota, y algunas combinaciones de las anteriores) para seleccionar las posibles sustancias protectoras.

Se impregnaron con estas sustancias lotes de 120 fibras cada uno, que fueron sometidos a un medio alcalino (pH=12.5) producido por una solución de hidróxido de calcio y agua. Se ensayaron a tensión a los 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 y 12 meses de exposición al medio alcalino. Además, se determinó el porcentaje de absorción de agua en fibras previamente impregnadas con las sustancias protectoras.

Los especímenes se fabricaron con agregados de caliza de Nuevo León, en donde además se utilizaron relaciones agua/cemento (a/c) de 0.65 y 0.35, con un consumo de cemento de 381 kg/m^3 y 707 kg/m^3. Los especímenes se reforzaron con fibra sin tratamiento y con fibra impregnada con las sustancias al 1% del volumen total de la mezcla (13.8 kg/m^3). Se usaron longitudes de fibra de 20 a 30 mm.

Se fabricaron especímenes de 75 x 75 x 280 mm para la resistencia a flexión o módulo de ruptura; por triplicado y para todas las condiciones y relaciones a/c. Una primera serie de 15 especímenes se ensayó a los 14 días con curado estándar hasta el momento del ensaye. Otra segunda de igual número se mantuvo en el cuarto de curado durante 10 meses, posteriormente fue sometida a 10 ciclos de humedecimiento y secado antes de ensayarse. Cada ciclo consistió en 12 horas en un horno a 70 °C en ambiente húmedo y 12 horas en un horno a 70 °C en ambiente seco.

Adicionalmente, se fabricaron especímenes para flexión sin contenido de fibra para las dos a/c. Fueron curados y ensayados de igual manera que los especímenes con fibra de la primera serie. Una vez que fue seleccionada la sustancia protectora para la fibra, se procedió a tratar de determinar el volumen de fibra en la mezcla y la longitud de la misma que proporcionara la mayor resistencia a flexión o módulo de ruptura. Se investigaron fibras cortas y largas aleatoriamente distribuidas, para lo cual se usaron fibras tratadas y cortadas con longitudes: 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 y 300 mm. La cantidad de fibra se investigó probando los porcentajes del volumen total de la mezcla: 0.5, 1, 1.5 y 2%. Todos los especímenes se ensayaron a los 14 días.

En general se concluye que las fibras de lechuguilla tienen significativas propiedades físico-mecánicas, tal como su resistencia última a tensión; que les permite ser consideradas como posible refuerzo en el concreto. Asimismo, el tratamiento protector con parafina le permite a la fibra reducir su capacidad de absorción de agua; además de mantener un porcentaje aceptable de su resistencia última a la tensión después de haber estado expuesta durante un año a un ambiente húmedo y alcalino, lo que resulta sumamente crítico.

Por otra parte, esta fibra permite un comportamiento dúctil después del agrietamiento de la matriz de concreto; como también puede afirmarse que las fibras largas adicionadas en bajas cantidades (con porcentajes bajos del volumen total de la mezcla) proporcionan al concreto la capacidad

para soportar mayores cargas de flexión, en comparación con el concreto simple.

Referencia: Juárez Alvarado C.; Rodríguez López P.; Rivera Villarreal R.; Rechy de von Roth M. A., "Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto", *CIENCIA UANL*, vol. VI, núm. 4, octubre-diciembre 2003.

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Estimación del Módulo de Elasticidad por medio de la Velocidad de Pulso Ultrasónico

1era parte.

Una de las prácticas recomendadas para evaluar la calidad del concreto y concretamente la resistencia a la compresión, es la Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU). Los resultados de pruebas de índice de rebote y del ultrasonido de absorción también pueden añadirse a los del VPU para mejorar la precisión de la estimación; sin embargo, estos datos no han sido utilizados para estimar el módulo elástico (*E*), un parámetro que muy a menudo es requerido por los ingenieros estructurales. En este escrito se propone un método para determinar el módulo de elasticidad del concreto mediante el uso de pruebas de ultrasonido.

El uso de pruebas no destructivas para estimar la resistencia del concreto tiene varias ventajas, entre la que destaca la reducción de la variabilidad de resultados, como consecuencia de la ganancia de resistencia en el concreto con el tiempo. El módulo dinámico (*Ed*) está correlacionado con la resistencia del concreto a la compresión; por lo que se puede calcular a partir de la frecuencia fundamental o de la velocidad de pulso de un elemento o de un espécimen de concreto. En aplicaciones estructurales, los diseñadores requieren que el material no sólo tenga un determinado nivel de resistencia a la compresión; sino también cuente con un cierto nivel de rigidez. La rigidez está relacionada con el módulo estático de elasticidad (*Ec*); sin embargo, los métodos para estimar dicha magnitud (*Ec*) son engorrosos, debido a que la preparación y ensaye de los especímenes son tardados y adicionalmente requieren del uso de equipos costosos.

Se propone a continuación un método para la determinación del módulo estático de elasticidad, no destructivo, rápido y bastante económico (en comparación con otros métodos), basada en el desarrollo de pruebas de estimación de la velocidad de pulso ultrasónico.

La metodología parte de calcular el tiempo de la velocidad de pulso ultrasónico (*t*) en un espécimen de longitud (*L*) conocida; de acuerdo a lo que *Ed* se podrá calcular por medio de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Ed = \rho C_L \left[\frac{(1+\sigma)(2+\sigma)}{(1+\sigma)} \right] = \rho C_L \, \psi(\sigma)$$

Donde ϕ y ρ son respectivamente el coeficiente de Poisson y la densidad del concreto, que se pueden determinar a partir del estudio de extracciones de campo y del ensaye en laboratorio de muestras obtenidas de manera representativas. En este caso C_L no es más que la velocidad de onda longitudinal medida en el concreto.

Dado que $\phi(\sigma)$ es de alrededor de 0.9 para la mayoría de los concretos, cuando la magnitud de σ es de aproximadamente 0.22, el valor de *Ed* evaluado se sobrestima en un 10%, respecto a cuando se evalúa directamente:

$$Ed = \rho C_L^2$$

De acuerdo a lo anterior, el valor de Ed evaluado a partir del método de resonancia, se puede considerar como exacto y se podría evaluar a partir de la velocidad de pulso ultrasónico; siempre y cuando $\phi(\sigma)$ no se tome como 1, sino con su valor real. Esto significa que si se conoce la densidad del material, el módulo de elasticidad dinámico podrá ser evaluado mediante la estimación de la velocidad de pulso ultrasónico, con bastante buena precisión.

Referencia: Choudhari N. K.; Kumar A.; Kumar Y.; Gupta R., "Evaluation of elastic moduli of concrete by ultrasonic velocity", NDE2002: Predict. Assure, Improve, National Seminar of ISNT (Indian Society for Not-Destructing Testing) Chennai, 5–7, 12, 2002. www.nde2002.org.