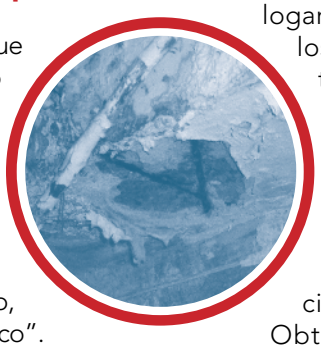
CORROSIÓN

Corrosión de refuerzos en estructuras de concreto

(Segunda parte)

Se resume a continuación un método que puede seguirse para evaluar el grado de deterioro de una estructura de concreto armado afectado por corrosión. Primeramente se debe detectar la delaminación del recubrimiento. En un inicio, puede que esta patología no se observe a simple vista; por lo que puede intentarse detectar, golpeando la superficie del concreto, tratando de identificar áreas con sonido "hueco".



Posteriormente, es importante que se localice la armadura de refuerzo, y que se verifique la continuidad eléctrica. La armadura de refuerzo se puede localizar mediante un pachómetro, un equipo que permite detectar la posición del acero de refuerzo, por lo general a menos de 10 cm de la superficie, y adicionalmente estimar el espesor del recubrimiento. Por su parte, la verificación de la continuidad eléctrica permite determinar la existencia de óxido aislante entre los refuerzos; por lo que se deja parte de la armadura expuesta y se limpia, para después medir los potenciales de corrosión, conectándole un multímetro.

A continuación es necesario extraer con perforadora, testigos de concreto de longitud variable. En estos testigos se podrá determinar el contenido de cloruros en el concreto, mediante análisis químico de las muestras, según ASTM 1152. En este caso se hace referencia al nivel crítico de concentración de cloruro, cuyo valor generalmente es adoptado como 0.4 % (en peso) respecto al contenido de cemento en el concreto.

A continuación se deberá determinar el espesor de la capa carbonatada, cuya profundidad del frente se podrá medir en distintos sectores de la estructura, en los mismos orificios resultantes de la extracción de testigos. La medición se podrá efectuar mediante la pulverización de una solución indicadora de pH sobre la superficie del concreto recientemente expuesta por las extracciones.

También se deberá determinar la reducción del diámetro de la armadura, tomando mediciones del diámetro del acero de refuerzo en sectores puntuales de la armadura expuesta y limpia. Esta disminución porcentual se estimará con base en el diámetro inicial y final del refuerzo.

Posteriormente, es importante que se determine la resistividad eléctrica del concreto (ρ), según la "técnica de Wenner"; con un dispositivo de diseño propio conectado a un medidor de resistencia. A partir de las lecturas se podrá catalogar la agresividad del concreto en función de los valores de resistividad eléctrica en tres tipos: agresividad baja para valores de ρ mayores a 200; moderada para valores de ρ entre 20 y 200, y alta para valores de ρ menores de 20; medido este parámetro en kΩcm.

También se deberá estimar la porosidad en el concreto, empleando probetas cilíndricas sin refuerzo según ASTM C-642. Obtenido el porcentaje de poros (P%), el criterio de evaluación establece que la calidad del concreto es alta si P% es menor que 10, buena si se encuentra entre 10 y 15, y baja si es mayor a 15.

Por último, resta la medición del Potencial de Corrosión (E_{CORR}) con un electrodo de referencia estándar saturado conectado a un multímetro de alta impedancia de entrada; interpretando los resultados según ASTM C-876. Con valores de potencial mayores a -200 se presenta el primer rango en el que el riesgo de corrosión es bajo y el acero se encuentra en estado pasivo. El segundo rango exhibe valores de entre -200 y -300, para los cuales existe un riesgo moderado en presencia de un acero en transición de activo a pasivo. Para valores menores a -300, el riesgo se considera alto con una armadura con corrosión activa.

Este último estudio puede complementarse con la medición de la velocidad de corrosión de la armadura, que permite predecir su velocidad de deterioro en términos de la disminución esperada para su sección transversal. Las mediciones se pueden realizar mediante ensayos *in situ* de resistencia a la polarización.

Con el empleo de procedimientos como el descrito, se pueden determinar los niveles de deterioro en las estructuras, debido al efecto de la corrosión; pudiéndose de alguna manera establecer un diagnóstico asociado al origen y a las causas del problema. Establecido el diagnóstico de referen-

cia, así como el grado de avance del deterioro, se pueden recomendar los métodos más adecuados para la reparación; según la severidad del daño. C

Referencia: Vico A.; Morris W.; Vázquez M., "Evaluación del avance de la corrosión de refuerzos en estructuras de concreto", División Corrosión, INTEMA Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.
http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/tecnologia_hormigon/coreMARCELA.pdf

SUSTENTABILIDAD

Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno–cemento

El Tereftalato de Polietileno (PET por sus siglas en inglés), fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson en 1941, comenzando a ser utilizado a partir de 1955 para la producción de envases para líquidos.

Con el desarrollo de la industria del plástico, el PET ha sustituido a diversos materiales como el vidrio, la madera y el cloruro de polivinilo (PVC); debido entre otras cosas, a su gran ligereza y resistencia mecánica a compresión, alto grado de transparencia y brillo, y a que es un buen conservador del sabor y del olor de los alimentos. La producción anual de envases de PET a nivel mundial es de más de 200 millones de toneladas, cifra que va aumentando considerablemente; siendo el PET un material útil para la vida cotidiana del hombre, también se ha convertido en uno de los que más contaminación genera. Ante esta disyuntiva, su reciclaje se convierte en una prioridad ante la que aparece la opción de su empleo en la construcción.

Se presenta en este escrito el resultado de un trabajo experimental desarrollado en Venezuela que se ocupó de elaborar, ensayar y caracterizar mezclas de PET–Cemento, estableciendo para ello una metodología que ayude a determinar de manera preliminar el comportamiento del PET como agregado en una mezcla.

Se elaboraron 21 probetas (cilindros y paralepípedos) por cada uno de los 5 tipos de mezclas (mortero y concreto). Las mezclas fueron conformadas por 5, 10 y 15 % de PET, además de arena y piedra en proporciones que dependen del tipo de mezcla; es decir, si es para mortero o para concreto. Se utilizaron tres diseños de mezclas en donde se sustituyó parte de la arena por el plástico.

Para determinar las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas realizadas se elaboraron una serie de probetas que tuvieran las características ideales para los respectivos ensayos tanto de compresión simple, como de absorción, erosión, e impacto. Las mismas se curaron por 7 días, luego se almacenaron hasta los 28 días para realizar los ensayos anteriormente mencionados; exceptuando los de absorción y erosión que se llevaron a cabo a los siete días.

En general, de este estudio puede referirse que el PET puede ser usado como agregado en las mezclas, a fin de contribuir al proceso de disposición final de los residuos plásticos contaminantes, lo cual ayuda de forma indirecta a disminuir el impacto ambiental. Dichas mezclas pueden utilizarse en la construcción de elementos de obras civiles, cuyas cargas y durabilidad estén limitadas a cierto rango.

Pudo comprobarse que al mantener constante la cantidad de cemento y variar la cantidad de arena para agregar el PET, se varía la resistencia a compresión. Al agregar PET a una mezcla de concreto se pierde cierto nivel de resistencia; aunque la obtenida se podría utilizar en mezclas de elementos que no requieran de estética, o para bloques, u otros elementos que no soporten importantes cargas.

Para realizar un diseño de mezcla óptimo, utilizando el PET como agregado, no se puede sustituir la arena de la mezcla; ya que al eliminar los agregados finos se pierde mortero y se producen discontinuidades dentro de la misma. La geometría irregular del PET con el que se realizaron las muestras, influyó de forma negativa en el comportamiento de la mezcla endurecida. Por otra parte, la densidad de la mezcla de PET–cemento es menor que los concretos o morteros patrones, ya que el PET es menos pesado que la arena y la piedra; lo que hace que la mezcla sea interesante para estructuras sometidas a bajas cargas.

Con respecto a la absorción, se puede concluir que la mezcla en estudio absorbe mayor cantidad

de agua que las mezclas patrón; lo que se debe a que al poseer menor cantidad de finos, existen más espacios vacíos dentro de la mezcla que se saturan al momento de sumergirla en el agua. Los ensayos de erosión realizados a las mezclas de PET arrojaron valores que demuestran que estas mezclas se ven más afectadas por factores externos como la lluvia y el viento (simulados en el laboratorio) que las muestras patrón.

Referencia: Luis A., Rendón N.; Korody M. E., Diseños de mezcla de Tereftalato de Polietileno (PET)–cemento, *Revista de la Facultad de Ingeniería*, Universidad Central de Venezuela, ISSN 0798-4065, versión impresa., Rev. Fac. Ing. UCV v.23 n.1, Caracas, marzo de 2008.

RASCACIELOS

Sky city

Cuando este año se termine el rascacielos Sky City, en la ciudad de Changsha, China; será considerado el edificio más alto del mundo. El edificio tendrá 220 niveles y 838 metros de altura. Sorprendentemente, todavía en el mes de noviembre del pasado año no se daban los primeros pasos en su construcción.

El actual edificio más alto del mundo (el Burj Khalifa con 828 metros, edificado en Dubai) tardó casi 5 años en construirse. Arquitectos e ingenieros de la compañía Broad Sustainable Building (BSB), encargados de la construcción del Sky City, confían en que este tiempo se pueda reducir.

Los críticos han señalado que la empresa de construcción BSB nunca ha construido nada más alto que un edificio de 30 niveles; pero los constructores parecen estar despreocupados. El vicepresidente de BSB, Juliet Jiang, previo al inicio de la construcción comentó que la obra estaba concebida para llevarse a cabo a razón de 5 niveles por día.

En el edificio Sky City, diseñado por los mismos ingenieros que trabajaron en el Burj Khalifa, se tendrá como objetivo fundamental el ensamblaje del 95% de una tecnología modular, que previamente la prefabricará la compañía BSB, a un ritmo de construcción vertiginoso.

Adrian Smith, diseñador del Burj Khalifa, quien vive en Chicago, comentó en un encuentro del Consejo para Edificios Altos y Hábitat Urbano (Council for Tall Buildings and Urban Habitat) en Shanghai el pasado año, que la rápida urbanización en China impulsaría de manera importante la expansión de edificios altos. Nueve de los 20 nuevos edificios más altos del mundo, se están construyendo en China.

La compañía BSB, que es la responsable de 20 estructuras modulares construidas recientemente en China, ha demostrado la eficacia de su forma de construir; siendo muy representativa la construcción de un hotel de 30 niveles en tan solo 15 días. Cabe decir que Changsha, que es la ciudad en donde se edificará el Sky City, es la ciudad natal del presidente Mao Zedong. El costo del proyecto del Sky City es de 4 mil millones de yuanes (400 millones de libras esterlinas). La estructura será capaz de albergar a 31,400 personas.

La compañía asegura además que el área residencial será del 83% del edificio, mientras que el resto serán oficinas, escuelas, hospitales, tiendas y restaurantes. La edificación también contará con 104 elevadores de alta velocidad.

El Sky City consumirá una quinta parte de la energía requerida por un edificio convencional, debido a los métodos de construcción únicos, en donde existe un cuádruple acristalamiento y paredes exteriores de 15.0 cm de espesor para el aislamiento térmico. Una vez que la edificación esté terminada, llegará a ser más alta que el Shanghai Tower, que se suponía iba a ser el edificio más alto de China con 632 metros, cuando esté terminado en 2014.

En noviembre del pasado año existían en construcción en China 239 edificios altos de más de 200 metros. Por otra parte, a finales del año 2011 sólo había 61 edificios en el mundo con alturas superiores a los 300 metros. En 5 años, China llegará a tener más de 60 de éstos.

Referencia: Adaptado y traducido de: "China to build world's tallest building in just 90 days", publicado en *The Independent*, noviembre del 2012. http://www.independent.co.uk/news/world/asia/china-to-build-worlds-tallest-building--injust-90-days-8340870.html

ADICIONES

Contracción por secado y ceniza de cáscara de arroz como adición al concreto

El estudio de concretos de alto desempeño (CAD) se viene desarrollando en el laboratorio de la Universidad Nacional del Noreste, en Argentina desde finales de la década de los 90 del siglo pasado. El tema de la durabilidad ha sido importante, así como también una de las propiedades que más incide en ella: la contracción por secado.

El mayor problema se presenta cuando la retracción o contracción no puede desarrollarse libremente; es decir, el concreto se encuentra restringido a los cambios volumétricos, ya sea por problemas de vínculos, cimbras, o por la forma del elemento constructivo. Este impedimento puede provocar una importante fisuración, la cual atenta contra la durabilidad y futuro comportamiento del material.

Deben distinguirse dos aspectos de la contracción: la producida por el fraguado de la pasta de cemento en la fase de endurecimiento; y la otra que es producto de las variaciones del contenido de humedad del concreto. Esta última es la que comúnmente se denomina contracción o retracción por secado.

La exposición del concreto a un ambiente no saturado de humedad provoca su contracción, tanto en estado fresco como endurecido. Este fenómeno es favorecido a su vez, cuando existe una considerable acción del viento y también cuando aumenta la temperatura. Cuando la contracción es controlada, por si sola no ocasiona efectos desfavorables en el material, como es el caso de las probetas en ambiente de laboratorio.

Se exponen en este escrito los resultados de una investigación para aportar mayor información sobre el comportamiento mecánico de concretos elaborados con materiales del nordeste argentino; considerándose para el estudio dos mezclas sin adiciones mineralógicas y una con incorporación de ceniza de cascarilla de arroz.

Para la elaboración de los especímenes se utilizó: cemento de alta resistencia inicial, piedra partida basáltica con tamaño máximo de 19 mm, y arena natural silícea con módulo de finura 2.46. El aditivo superfluidificante que se empleó como reductor del contenido de agua, fue con base en el naftaleno sulfonado. Las dosis empleadas variaron entre 2.4 y 3% del peso del cemento más la puzolana. Estas dosis permitieron obtener mezclas trabajables y con consistencias que van desde plásticas a fluidas, con relaciones a/c (sin considerar el aditivo) inferiores a 0.33.

La cáscara de arroz es un material altamente silícico, que después de una combustión controlada proporciona un 20% de ceniza con contenido de sílice que varía entre el 90 y 95%. La puzolana se incorporó al concreto en remplazo parcial del cemento, en una proporción del 10%

Para el estudio de la retracción se utilizaron probetas prismáticas de 5 x 5 x 28.5 cm, moldeadas de a pares para cada mezcla. Los cambios volumétricos que experimentó el concreto, se establecieron en términos de cambios relativos de longitud; para cuya determinación se incorporaron en el molde dos tornillos de material inalterable, que quedaron adheridos al concreto por ambos lados a una distancia de 30 cm.

Según los resultados de esta experiencia, la incorporación de ceniza de cáscara de arroz al concreto, como sustitución parcial del contenido de cemento en peso, proporciona una disminución considerable de la contracción por secado; disminuyendo la posibilidad de formación de fisuras y por consecuencia aumentando la durabilidad. Las cenizas obtenidas a través del tratamiento térmico adecuado, podrían ser una alternativa cierta en el campo de la tecnología de los materiales. C

Referencia: Sanguinetti B. M.; Astori R. E.; Bizzotto M. B., *Retracción por secado en hormigones de alto desempeño elaborados con materiales de la zona del nordeste argentino*, Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, 2005.