

PERMEABILIDAD

Permeabilidad del concreto en ambiente marino sumergido

2^{da} parte.

Como se comentó en la primera parte de este documento, se evalúan algunos aspectos de la durabilidad de cajones portuarios continuamente sumergidos, en los que queda únicamente a la vista la viga cantil sobre cada cajón, que a su vez forma la plataforma del muelle sin resultar objeto del estudio.

Dada la dificultad que tiene la extracción de testigos bajo el mar, se planificaron las extracciones verticales desde la viga cantil. En cada uno de los cajones estudiados (3 por muelle) fueron realizadas dos extracciones verticales de 10 cm de diámetro y 3 m de longitud, excepto en uno de los cajones del Muelle B, en donde sólo se extrajo un espécimen, por lo que se dispone de 6 especímenes en el Muelle A, y 5 en el B.

Por tratarse de determinar el perfil de penetración de cloruros en cada cajón, la primera extracción se intentó ubicar justo detrás de la armadura más próxima al paramento en contacto con el agua de mar; la segunda se situó a continuación, solapándose 2 cm con la anterior. Cabe decir que en los testigos del Muelle A se cortaron tres probetas de 12 cm de longitud (7 cm para el Muelle B, salvo una de 11 cm para el ensayo de resistencia) para realizar ensayos de resistencia a compresión y medir velocidades de pulso ultrasónico. También se estima la porosidad, la absorción, y la penetración de agua y de ascensión capilar.

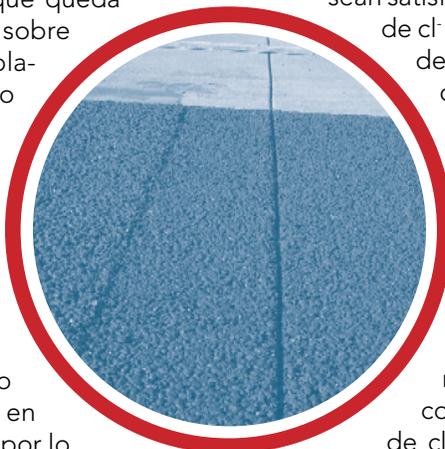
A partir de los datos de la profundidad de penetración máxima de agua y de la porosidad abierta del concreto, se realizó una estimación del coeficiente de permeabilidad; según la ecuación desarrollada por Valenta (1970). El análisis de la penetración de cloruros se suele realizar mediante

la determinación del perfil de penetración que se obtiene analizando químicamente, según la norma ASTM C1152, el contenido de cloruros de muestras de concreto tomadas a diferentes profundidades.

En los testigos extraídos se corta una "rodaja" de 10 cm para realizar los ensayos de determinación de cloruros (cl⁻), en los que son realizados, a su vez, 3 cortes longitudinales paralelos al paramento en contacto con el mar, obteniéndose 4 muestras de 2 cm de espesor y 10 cm de longitud, con las que se realizan los análisis químicos. En general, en los muelles estudiados, aunque la resistencia del concreto y la velocidad de pulso ultrasónico resultaron elevadas, se observa que el concreto contiene una elevada porosidad que induce a que los resultados de los ensayos de durabilidad, no sean satisfactorios. Los análisis de concentración de cl⁻ indican que para evitar la penetración de cl⁻, es necesario alcanzar calidades del concreto muy buenas.

Los concretos estudiados habían sido curados con agua de mar; pero el efecto de la mayor penetración de cl⁻ inicial parece desaparecer con el tiempo, según los resultados de otros ensayos que actualmente se están realizando. Sin embargo, la inspección visual de las armaduras indicó que no hubo síntomas de corrosión a pesar de que el contenido de cl⁻, a esa profundidad, sea superior al 0.4% que indican muchas de las normativas internacionales, debido a que el acceso de oxígeno hasta las armaduras resulta escaso, al encontrarse el concreto totalmente sumergido en el agua. Por tanto, en ambiente marino sumergido el contenido crítico de cl⁻ que supone el inicio de la corrosión debe ser bastante mayor a 0.4%, y según los datos obtenidos para el Muelle B, al menos superior al 1.34% en peso de cemento. De acuerdo con estos resultados, es posible que en ambiente marino sumergido sea suficiente un concreto tipo H-25; mientras que para los ambientes marinos y atmosféricos, en donde sí hay una exposición mayor al oxígeno atmosférico, se necesita utilizar concretos de mayor calidad. c

Referencia: Bermúdez Odriozola M. Á.; Alaejos Gutiérrez P., "Permeabilidad a los cloruros del hormigón armado situado en ambiente marino sumergido", en *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 22, núm. 1, abril 2007 (www.ing.puc.cl/ric).



RASCACIELOS

El futuro de los grandes edificios

De acuerdo con una investigación desarrollada por Emporis (una de las principales compañías en el mundo destinadas a proveer información asociada a datos de edificios y de proyectos de construcción, <http://www.emporis.com>), una serie de nuevas súper torres eclipsará a los edificios actualmente existentes en la élite del club que agrupa a las grandes torres actualmente existentes.

Increíblemente el décimo edificio más alto de los actualmente en construcción, la torre *Busan Lotte Town*, en construcción en Corea del Sur (que tendrá una altura de 510 metros); llegará a tener más altura que la edificación que actualmente ocupa el segundo lugar entre los edificios más altos del mundo; es decir, la torre *Taipei 101* localizada en Taiwán y que exhibe una altura de 508 metros.

Nueve de los diez futuros rascacielos "súper altos" se encuentran en Asia. El *Burj Dubai*, ubicado en el Medio Oriente, seguirá siendo el edificio más alto del mundo con 828 m. A continuación, en la futura lista de los diez edificios más altos se ubicarán una serie de elevadas edificaciones que se construyen en China y Corea del Sur, en números de 6 y 2 respectivamente.

Kohn Pedersen Fox (KPF) diseñó el Centro Internacional de Finanzas *Ping An*, en Shenzhén, ciudad localizada al sur de la provincia de Cantón, que con 116 pisos tendrá una altura de 648 metros de altura. Una vez culminado este edificio en el año 2015, será el segundo edificio más alto del mundo.

Las otras grandes edificaciones a terminarse en China en los próximos años son: la torre *Shanghai*, diseñada por Gensler, a terminarse en el año 2014 y que tendrá una altura de 632 metros; el edificio *Golding Finanzas 117*, a terminarse en el año 2015, con una altura de 597 metros y a cargo

de la compañía P&T Architects&Engineers; el edificio *Centro Chow Tai Fook*, diseñado también por la compañía Kohn Pedersen Fox, el cual, con 530 metros de altura se planea culminar en el año 2016. Por último, la torre de 530 metros de altura *CTF Tianjin*, diseñada por Skidmore, Owings&Merill (SOM), que espera ser terminado en el año 2015.

Respecto a los rascacielos de Corea del Sur se comenta que se trata de las torres *Lotte World* y *Busan Lotte Town*, a culminarse en el 2014 y en el 2016, respectivamente. La primera, diseñada por Kohn Pedersen Fox, tendrá una altura de 556 metros, y la segunda, bajo el diseño de SOM, tendrá una altura de 510 metros. Por su parte, en Arabia Saudita ya se encuentra casi lista la que en el futuro será la tercera edificación más alta del mundo: la torre *Makkah Clock Royal*; que tendrá una altura de 601 metros y tendrá vistas a La Kaaba, uno de los lugares más sagrados del Islam.

El único rascacielos (actualmente en construcción en el hemisferio norte) con más de 500 metros de altura, es el Centro *World Trade Center* que se ubica en el Bajo Manhattan, en Nueva York. Esta edificación está considerada para terminarse en el 2013. Tendrá una altura de 541 metros ya también es un proyecto de Skidmore, Owings&Merill.

Tal y como se aprecia de lo anteriormente expuesto, Skidmore, Owings&Merill y Kohn Pedersen Fox resultan ser actualmente los líderes en la construcción de edificios rascacielos a nivel mundial. Entre ambas compañías construyen seis de las diez grandes construcciones del futuro. Cabe decir que otros dos proyectos que actualmente esperan su turno para ser construidos y engrosar también la lista de los más altos del mundo son: la torre *India*, en Mumbai (Foster+Partners) y la torre *Pentominium*, en Dubai (Despacho Aedas). La primera de 720 metros de altura y la segunda de 516 metros. **C**

Referencia: Texto adaptado y traducido de: "Under construction: 9 of the 10 tallest buildings in history". Publicado en: *The Architect's Journal*, julio de 2012. (<http://www.architectsjournal.co.uk/news>).



CONCRETO RECICLADO

Reciclados de concreto como agregado grueso

La utilización de desechos de construcción y demolición ha adquirido un gran impulso a nivel internacional, como consecuencia del incremento de los grandes volúmenes generados durante las últimas décadas. En el caso particular del reciclado de concretos viejos para su empleo como agregados en la elaboración de nuevos concretos (en reemplazo parcial o total del agregado grueso natural), el hecho adquiere mayor relevancia debido a que en muchos casos tiene lugar un agotamiento de las fuentes no renovables de agregados.

Una fuente habitual de generación de desechos que no ha sido tomada en cuenta como debiera, la constituyen los sobrantes del concreto de camiones hormigoneras. En estos casos, no es difícil que se conozcan las propiedades de los materiales con que fueron elaborados, así como los niveles de resistencia; sin embargo, debe de considerarse que las características de estos sobrantes, pueden verse modificadas. Lo anterior se debe, entre otras cosas, a la prolongada permanencia dentro del camión, así como a la falta de tratamiento durante y posterior a la colocación (por ejemplo, en la compactación y en el curado); lo que conduce a un concreto de menor calidad.

Con estos antecedentes, en La Plata (Argentina) se desarrolló una investigación encaminada a evaluar las propiedades mecánicas de concretos con reciclados, en los que se reemplaza 25, 50 y 75% en volumen del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado (AGR) obtenido de la trituración de sobrantes de concreto convencional, previamente elaborado en una planta concretera. Algunos de los aspectos relevantes de la investigación de referencia, se presentan a continuación en este escrito.

En el estudio se demuestra que el AGR presenta una mayor absorción de agua y menor densidad que el agregado granítico natural que se usa originalmente, lo que se atribuye al mortero que forma parte de su composición. Con relación a los pesos volumétricos determinados en cada uno de los concretos recicla-



dos, se verifica que estos disminuyen a medida que se incrementa el porcentaje de AGR.

Con el propósito de caracterizar las propiedades de resistencia y rigidez de los concretos con reciclados, se moldearon probetas, y fueron realizados ensayos físico-mecánicos a la edad de 28 días, en donde se obtuvo que los concretos con sustitución de 25 y 50 % presentaron un nivel de resistencia a compresión similar al del concreto sobrante (aproximadamente un 9% menor). En el caso del concreto elaborado con una sustitución del 75%, la disminución fue del 19%.

Las diferencias en las resistencias son atribuibles a que al incrementar el porcentaje de reemplazo del agregado natural por el AGR, se demanda un extra de agua, en función de la absorción del material, para compensar la pérdida de revenimiento que podría haberse producido. Por esta razón, la relación agua-cemento (a/c) efectiva que teóricamente era igual en los tres concretos con AGR, se puede incrementar (en función de la cantidad de agua que el AGR pueda absorber), lo que dependerá de la posibilidad de que éste entre en contacto directo con el agua de mezclado o con el mortero del concreto. De acuerdo con lo anterior, es posible establecer que las diferencias observadas en los valores de resistencia pueden ser atribuidas, al menos en parte, al posible incremento de la a/c .

En relación al módulo de elasticidad estático de los concretos con AGR, se observa una disminución del mismo conforme se incrementa el porcentaje de estos en la mezcla; lo que es atribuido a la menor rigidez (mayor deformabilidad) de los AGR, como consecuencia del contenido de mortero del viejo concreto.

Considerando los resultados obtenidos en este estudio respecto a la utilización de AGR procedentes de la trituración de concretos sobrantes procedentes de camiones hormigoneras; para la elaboración de nuevos concretos, se indica que es una alternativa de sumo interés. Esta alternativa puede permitir la eliminación del sobrante, lo que conduciría al logro de una menor contaminación y a la reducción en el costo del nuevo concreto; que a su vez podría llegar a tener niveles aceptables de resistencia y rigidez, respecto a los que se suelen tener en los concretos convencionales. **C**

Referencia: Zega, C., Falcone, D.; Di Maio, A. "Hormigones elaborados con reciclados de sobrantes de hormigones de mixer", en *Hormigonar: Revista de la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado*, núm. 13, diciembre de 2007.

Residuos agrícolas como materiales puzolánicos

Es innegable el papel que ha jugado el cemento en la historia de la humanidad; sobre todo el cemento Portland con cuyo descubrimiento se abrió una nueva era en la industria de materiales de construcción. Sin embargo, en la actualidad han aparecido algunos cuestionamientos en el empleo de este material, asociados principalmente al impacto ambiental que genera su producción y uso extensivo.

Algunas de las maneras de atenuar esta situación es la mejora de la eficiencia de los procesos de producción en planta, con el objeto de disminuir el consumo energético y de disminuir el consumo de cemento en obra utilizando adiciones que sustituyan parcialmente este material por otros de menor impacto. Hacia esta última alternativa se dirige el objetivo fundamental del estudio que comentamos, al evaluar algunos residuos agrícolas en Venezuela desde el punto de vista físico-químico y su comportamiento como material puzolánico.

Diversas fuentes afirman que las puzolanas, sobre todo las de origen artificial, constituyen una de las experiencias más alentadoras como materiales suplementarios al cemento. A partir de considerar que estos materiales por sí solos poseen poco o ningún valor cementante. Sin embargo, cuando se dividen finamente en presencia de agua, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente y forman compuestos con propiedades cementantes. En la actualidad, numerosas investigaciones se encaminan a la búsqueda de alternativas que posibiliten su combinación con el concreto, de ciertas cantidades de cemento por puzolanas; sin afectar o incluso mejorando su resistencia mecánica, entre otras propiedades.

En Venezuela, a partir de los altos volúmenes de producción de arroz, caña de azúcar y maíz, se generan grandes volúmenes de residuos, que pudiesen ser fuentes de obtención de nuevos materiales puzolánicos como la cascarilla de arroz, la hoja de maíz y el bagazo de caña. Para este estudio, se preparan 14



muestras que incluyen un patrón sin ninguna adición (100% Portland), así como series de muestras con contenido de ceniza de entre 10 y 30 %, en sustitución de cemento para cada uno de los materiales a evaluar. Los materiales utilizados en las probetas fueron:

cemento Portland, arena, agua, arena de Ottawa con forma y granulometría controladas, así como cenizas de hoja de maíz, de cascarilla de arroz y de bagazo de caña, obtenidas a partir de su propia combustión, sin control y posteriormente molidas en un molino de bolas de 5 kg de capacidad.

Se verificó en este estudio que las cenizas de cascarilla de arroz y de hoja de maíz se pueden utilizar como suplementos parciales del cemento Portland en la elaboración de concretos ordinarios. Siendo el porcentaje de sílice en la ceniza uno de los elementos principales para una puzolana de buena calidad, se pudo apreciar que la cascarilla de arroz es el material de mayor potencialidad. Se logró una ceniza con poco más de 80 % de sílice en su composición, en tanto que la ceniza de hoja de maíz presentó cerca de un 48 % de sílice. La ceniza de bagazo de caña resultó menos efectiva, con un poco más del 36 % de sílice en su composición.

Las adiciones de ceniza de cascarilla de arroz provocan incrementos en la resistencia a la compresión con un porcentaje ideal de suplementos del 20 %. Por su parte, la ceniza de hoja de maíz experimentó un ligero incremento en su resistencia a compresión para pequeños porcentajes de suplemento. En general, se puede apreciar que se logra hasta el 20 % sin afectaciones mayores de la resistencia. Cabe decir que las muestras con ceniza de bagazo de caña, no mostraron posibilidades de ser empleadas como material puzolánico.

Asimismo, pudo constatarse una mejoría en la estabilidad química y la durabilidad del cemento cuando se le añade ceniza, lo cual aumenta la factibilidad del empleo de ésta en elementos que estarán sometidos a ambientes agresivos; sin embargo, se apreció que la adición de ceniza al cemento también provoca una demanda mayor de agua para el amasado, lo cual tiende a disminuir su resistencia mecánica. **C**

Referencia: Águila I; Sosa M., "Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos", en *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, vol. 23, núm.4, Caracas, diciembre de 2008.