



## Aditivos que dan mayor vida a las estructuras



Un proceso conocido como pasivación permite al concreto resguardar el acero de refuerzo mediante una película protectora de óxido sobre el acero debido al ambiente alcalino. Los iones de cloruro provenientes de las sales descongelantes, el rocío y el agua de mar, la niebla marina, los aditivos y el agua de mezclado pueden destruir la película protectora, y es entonces cuando comienza la corrosión. Los cloruros pueden infiltrarse a través del concreto sano, es decir, no son necesarias las grietas para que aquéllos entren en el concreto.<sup>1</sup> Se informa que el nivel umbral del cloruro que inicia la corrosión es tan pequeño como 0.15 por ciento de cloruros solubles en agua, y 0.20 por ciento de cloruros solubles en ácidos, por peso de cemento<sup>2</sup> (0.6 a 0.9 kg/m<sup>3</sup>). Otra variable importante es la velocidad con que los cloruros alcanzan el acero. Esta velocidad de penetración de los cloruros depende de la permeabilidad del concreto y de la disponibilidad de humedad para transportar los cloruros dentro del mismo. Cuando se acumulan suficientes cloruros en el acero de refuerzo para penetrar y destruir la película protectora de óxido, ocurre la corrosión (oxidación) porque hay suficiente presencia de oxígeno.

### Resumen:

Este artículo trata sobre un aditivo que reacciona químicamente con el cemento portland y reduce la corrosión del acero de refuerzo en el concreto al disminuir la permeabilidad y aumentar la resistencia a la penetración de iones de cloruro. Las pruebas realizadas durante 25 años comprueban su capacidad de aumentar la durabilidad del concreto.

Cuando los cloruros, el oxígeno y la humedad causan la corrosión del metal ahogado, el producto del óxido (herrumbre) es mayor en volumen que el acero, y crea fuerzas expansivas que pueden exceder la resistencia a tensión del concreto; ocurren entonces grietas, astillamientos, oxidación y delaminación del recubrimiento de concreto. La pérdida de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo y la pérdida de sección transversal del acero son problemas estructurales muy serios, y pueden dar como resultado un colapso.

Más de 69 por ciento de los 577 mil puentes en las carreteras de Estados Unidos tienen tableros de concreto. La mayor parte de los tableros de los puentes de más de 25 años han sido repuestos o necesitan rehabilitación.<sup>2</sup> La corrosión de los elementos de estas estructuras que soportan cargas se ha convertido en un serio problema. Debe incorporarse la protección contra corrosión en el diseño de nuevas estructuras y en la rehabilitación de las existentes. Defensas importantes contra la corrosión son: concreto de baja permeabilidad (para reducir el ingreso de cloruros), sistema de vacíos de aire uniforme, baja relación agua/cemento, concreto de alta calidad, recubrimiento suficiente, colocación apropiada, curado adecuado y drenaje apropiado.

Aquí se presentan los resultados de un aditivo de concreto que reduce la corrosión del acero de refuerzo en el concreto. Este aditivo es un complejo silicato inorgánico de tierra alcalina a base de agua libre de cloruros, que reacciona químicamente con el cemento portland para densificar la matriz del concreto de cemento portland. Reduce el ingreso de cloruros provenientes de los químicos descongelantes y del ambiente marino, tal como se determina por los métodos de prueba AASHTO T 259 y T 260. La adición de este aditivo

eleva la trabajabilidad y reduce la permeabilidad, tal como lo demuestran las pruebas hechas de acuerdo con CRD C 48 del Cuerpo de Ingenieros y el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras SHRP S 329 V. 7.<sup>3</sup> Este aditivo se ha usado en combinación con otros aditivos, ceniza volante, humo de sílice, escoria de alto horno granulada molida, cemento tipo K y agentes inclusores de aire.

### Comportamiento del material

Durante la hidratación del cemento con este aditivo, tienen lugar cambios químicos y físicos para modificar la matriz. En el concreto, se forma una estructura de poros en la

pasta de cemento. En el concreto que contiene este aditivo, se desarrolla una estructura de microporos. Este sistema de microporos es único en el sentido de que los poros son más pequeños y más uniformemente espaciados. El exceso de hidróxido de calcio (libre de cal) y de hidróxido de aluminio de calcio en el cemento portland se convierten en silicato tricálcico y silicato de aluminio tricálcico. Estos compuestos se precipitan en la estructura de poros y el sistema capilar como microcristales muy finos. Como resultado, se reducen la penetración de iones de cloruro y la permeabilidad del agua, ayudando de este modo a preservar el positivo ambiente protector del concreto para el acero de refuerzo.

El aditivo, al igual que los componentes del cemento portland, entra en la reacción de hidratación del cemento. Las propiedades del aditivo aceleran el proceso de hidratación, dejando menos exceso de agua para ser expelido a través de los canales capilares durante el secado (agua de sangrado). La contracción normal del concreto es resultado del uso de agua de mezclado para proveer trabajabilidad. Aproximadamente la mitad del agua en el concreto se provee para la trabajabilidad, y excede la que se necesita para la hidratación del cemento. La evaporación del exceso de agua después de la colocación origina capilares en el concreto. Los capilares y los vacíos de aire, junto con las microgrietas, se juntan para formar grietas por contracción en la masa endurecida. Al reducirse la formación de capilares, grandes vacíos de aire y grietas por contracción, se reducen la permeabilidad y la corrosión del acero de refuerzo.

Las pruebas demuestran que el concreto con este aditivo tiene una resistencia excepcional a la permeabilidad y a la penetración de iones de cloruro. Estas pruebas incluyen mezclas con relaciones de  $a / c$  de 0.40 a 0.50, aunque este aditivo se ha utilizado en mezclas superplastificadas con una relación  $a / c$  tan baja como es 0.31 y en mezclas con una relación  $a / c$  tan alta como 0.59. La gama de factores de cemento en las pruebas va de 312 a 446  $\text{kg/m}^3$ .

## **Pruebas y resultados**

Desde 1973, se han realizado varias pruebas y programas de pruebas con el objeto de verificar la capacidad de este aditivo para impartir al concreto propiedades que proporcionen durabilidad, tal como se describe más adelante.

### **Pruebas de penetración de iones de cloruro**

*Designaciones AASHTO: T 259 y T 260*

Estas pruebas implican encharcamiento a 3 por ciento de una solución de cloruro de sodio, de 12.7 mm (1/2 pulg.) de profundidad por 90 días. Después se toman muestras desde profundidades de 1.6 a 12.7 mm (1/16 a 1/2 pulg.) y 12.7 a 25.4 mm (1/2 a 1 pulg.). Luego se determina la concentración promedio de iones de cloruro en estos dos niveles, y se comparan en losas con y sin el aditivo. Cuando se modificó el concreto con el aditivo, la penetración de iones de cloruro se redujo en 23 por ciento a la profundidad de 1.6 a 12.7 mm (1/16 a 1/2 de pulg.), y en 75 por ciento a la profundidad de 12.7 a 25.4 mm (1/2 a 1 pulg.). Estos resultados son los promedios de tres programas de prueba.

### **Pruebas de permeabilidad**

*Prueba núm. 1 de permeabilidad al agua: Designación CRD: CRD-C 48 (modificado).*

La prueba se realizó para comparar la permeabilidad del concreto modificado con el aditivo con la del concreto de control. Se colaron cilindros de 152 mm de diámetro utilizando una

mezcla de 27.6 MPa. La parte superior de los cilindros de concreto fue expuesta a una fuente puntual de agua teñida de azul a una presión de 0.7 MPa durante un período de 72 horas. Después los cilindros fueron probados e inspeccionados, arrojando los resultados que se muestran en el cuadro 1. Cuando se agregó el aditivo al concreto, la profundidad de penetración por el agua teñida se redujo en 84 por ciento y el volumen de penetración se redujo en 98 por ciento.

*Prueba núm. 2 de penetrabilidad del agua: Designación CRD: CRD C 48 (modificado).*

Esta prueba se realizó para comparar la permeabilidad del concreto que contenía el aditivo con la del concreto de control. Se colaron cilindros de 15.2 cm de diámetro utilizando una mezcla de 31.0 MPa. La parte superior de los cilindros de concreto se expuso a una presión uniforme de 1.4 MPa durante un período de siete días. Se registró la cantidad de agua que penetró los cilindros, y después de finalizar la prueba los cilindros se hendieron y se inspeccionaron; los resultados se muestran en el cuadro 1. La adición del aditivo redujo tanto el volumen de agua en el concreto como la profundidad de penetración del agua en el mismo por un factor mayor de 2.0.

*Prueba de penetración de gasolina: Informe de prueba empírica de penetración de gasolina de un concreto de 280 kg / cm<sup>2</sup>.*

Esta prueba se realizó para comparar la permeabilidad a la gasolina del concreto de control, con un concreto modificado con el aditivo. Se colaron dos losas de control y dos losas con el aditivo, que contenían 306 kg de cemento portland tipo 1, 816 kg de agregado grueso, 559 kg de agregado fino, y 122 kg de agua. Después de un período de curado de 28 días y un recubrimiento de los lados exteriores de las losas (la parte inferior sin recubrir) con epoxia, las losas se encharcaron con gasolina teñida de rojo, por aproximadamente tres meses. Se sellaron placas de vidrio en la parte superior o en las presas del perímetro para retardar la evaporación de la gasolina. Después de las pruebas, los especímenes de prueba se tomaron longitudinalmente para exponer la penetración del tinte rojo.

Losa A con aditivo: penetración más profunda observada = 12.7 mm.

Losa B con aditivo: Penetración más profunda observada = 19.0 mm.

Losa A de control: Penetración más profunda observada = 54.0 mm.

Losa B de control: Penetración más profunda observada = 63.5 mm.

El informe contiene la siguiente declaración: "La gasolina es altamente volátil y virtualmente no dejará rastros después de la evaporación. Las mediciones de la pérdida de gasolina pueden, por lo tanto, ser sólo una indicación de una penetración de la gasolina en el concreto. La evidencia del colorante rojo en la masa de concreto, sin embargo, muestra un rastro de la penetración de la gasolina. Por lo tanto, la conclusión de que el aditivo reduce la penetración en el concreto en más de 50 por ciento en un término de tres meses es exacta."

### **Pruebas de flujo de aire en la superficie**

Se ha desarrollado un dispositivo de flujo de aire en la superficie para medir la permeabilidad del concreto (tal como se describe en SHRP S 329 V.7).<sup>3</sup> Se aplica un vacío de aproximadamente 762 mm de mercurio a una superficie de concreto y se mide el flujo de aire resultante. Los flujos de aire más altos indican un concreto más impermeable. Los siguientes dos programas de prueba se realizaron con el fin de comparar el concreto modificado con el aditivo con el concreto de control.

*Prueba núm. 1 de flujo de aire en la superficie: Losas coladas utilizando materiales del área de Miami, Florida.*

El diseño de la mezcla para esta prueba fue de 239 kg de cemento portland tipo II, 60 kg de ceniza volante clase F, 768 kg de agregado grueso, 524 kg de agregado fino, y 128 kg de agua. Se colaron seis losas y se curaron de acuerdo con los procedimientos AASHTO T 259. Las mediciones de prueba de flujo de aire en la superficie para las losas se dan en el cuadro 2. Las losas 1, 2 y 3 contenían el aditivo, y las losas 4, 5 y 6 fueron losas de control. Se tomaron las lecturas del flujo de aire en la superficie en centímetros cúbicos

estándar por minuto (SCCM) y las lecturas de vacíos aplicados en milímetros de mercurio (mmHg). En la cuadro 2 se muestra un promedio para cada losa y el promedio total para losas con y sin aditivo. Para el concreto modificado con el aditivo, la velocidad de flujo promedio fue de 1.5 SCCM, aproximadamente 34 por ciento de la velocidad de flujo del concreto de control.

*Prueba núm.2 de flujo de aire en la superficie: Puentes de carreteras troncales de Pennsylvania*

Se informó que el diseño de las mezclas para estos puentes fue de 341 kg de cemento portland tipo I, 62 por ciento de agregado grueso de piedra caliza, 38 por ciento de agregado fino, y 136 kg de agua, teniendo un revenimiento de 7.62 cm con 4 a 7 por ciento de aire incluido. Se tomaron mediciones de pruebas de flujo de aire en la superficie en tres puentes y se tabularon de una manera similar al cuadro 2. El concreto de control en el poste miliar (mojonera) 136.25 tenía una velocidad de flujo de 31.0 SCCM. Para el concreto modificado con el aditivo en el poste miliar 133.40, la velocidad de flujo fue de 7.9 SCCM, aproximadamente 25 por ciento de la velocidad de flujo del concreto simple. Para el concreto modificado con aditivo en el poste miliar 152.05, la velocidad de flujo fue de 5.0 SCCM, aproximadamente 16 por ciento de la velocidad de flujo del concreto simple.

Estas reducciones son impresionantes y soportan los resultados visuales descritos en la historia de los casos de los puentes en las carreteras troncales de Pennsylvania.

**Prueba de resistencia a congelación-deshielo**

*Designación AASHTO: T 161, procedimiento A.*

Esta prueba se realizó para determinar la resistencia del concreto modificado con el aditivo para ciclos rápidamente repetidos de congelación y deshielo en el agua. Los especímenes se sometieron a 300 ciclos de congelación-deshielo. El factor de durabilidad para el concreto modificado fue de 98.9, lo que representaba el 101.2 por ciento del de control.

Se utilizó la siguiente mezcla para los especímenes:

Cemento: 277 kg

CA: 859 kg

FA: 532 kg

Agua: 130 kg

a / c : 0.47

Revenimiento: 57.2 mm

Aire: 3.4 por ciento

Sangrado: 0.04 por ciento

Resistencia a compresión: 14 días: 23.4 MPa

28 días: 34.6 MPa

Expansión a partir de las pruebas de las reacciones álcali-sílice

*Designación ASTM: C 441*

Esta prueba se realizó para determinar el efecto del aditivo en la expansión causada por las reacciones álcali-sílice en el concreto. Los resultados de las pruebas muestran que cuando se utilizó el aditivo en combinación con el cemento con bajo contenido de álcali, hubo una reducción de 47 por ciento en la expansión del mortero a 14 días, y una reducción de 42 por ciento a 28 días. En una mezcla que utilizaba cemento con bajo contenido de álcalis, y 25 por ciento (en peso) de ceniza volante clase C, la adición del aditivo dio como resultado una reducción de 42 por ciento de la expansión del mortero a 14 días, y una reducción de 45 por ciento a 28 días.

### **Prueba de calor de hidratación**

*Designación ASTM: C 186*

Esta prueba se realizó para comparar el calor de hidratación del concreto modificado con el aditivo para controlar el concreto. Se prepararon mezclas similares de concreto con y sin el aditivo, que contenían 256 kg de cemento portland tipo I, 526 kg de agregado fino; y 862 kg de grava con a / c de 0.50. Los resultados de las pruebas indicaron que el calor de hidratación a tres días fue 13 por ciento más bajo para el concreto con la mezcla que contenía el aditivo.

### **Prueba de corrosión del acero ahogado**

*Prueba de corrosión con macrocelda (SCAT)*

Se colaron especímenes de concreto con idénticos diseños de mezcla, los mismos agregados, cemento y agua, bajo condiciones controladas. Los especímenes medían 305 x 305 x 178 mm y estaban reforzadas con dos varillas en la parte superior con un recubrimiento de 2.5 cm, y cuatro varillas en la parte inferior con un recubrimiento igual. Las varillas superiores e inferiores estaban conectadas con un alambre de cobre a través de un resistor de 10 ohms. Tres losas contenían el aditivo inorgánico y tres contenían microsílíce. Se aplicó en las losas una solución de NaCl (15 por ciento en peso) en exceso, hasta formar un charco, continuamente durante cuatro días, después de lo cual la solución se quitó con aspiradora, se enjuagaron las losas y se mantuvieron a una temperatura constante de 38 °C durante tres días. Este ciclo de encharcamiento con agua salada y secado por aire a 38 °C se continuó durante 48 semanas. Se registraron corrientes de corrosión y potenciales a media celda, como se muestra en las figuras 2 y 3. Después de completar las pruebas, se determinaron los contenidos de cloruro a varias profundidades, como se muestra en la figura 4.

profundidades, como se muestra en la figura 4.

Durante el período de pruebas de 48 semanas, a ninguna mezcla de concreto se le permitió que excediera el umbral de corrosión establecido. Esto fue soportado por la inspección visual del acero de refuerzo al final de la prueba. No se encontraron productos de corrosión.

### **Comportamiento influido por el diseño y la construcción**

Este aditivo se ha utilizado en concreto postensado, premoldeado y colado en obra, así como en concreto lanzado en una variedad de estructuras. El aditivo mejora la mezcla de concreto, pero las grietas que se forman como resultado de decisiones de diseño pueden comprometer la resistencia a la corrosión. Los diseñadores de puentes y de estacionamientos se han dado cuenta de estos problemas, y han publicado unas guías (AASHTO y ACI 362.1R-94). También el fabricante del aditivo proporciona guías de diseño y construcción para estos tipos de estructuras.

Si se permite que el concreto se agriete a niveles de cargas de servicio y bajo las fuerzas de cambio de volumen por la expansión y la contracción, puede perderse algo del beneficio del aditivo. La práctica del diseño debe incluir provisiones para el control del drenaje y el agrietamiento. Durante la construcción, el concreto debe ser apropiadamente colocado, acabado y curado. Las buenas prácticas de diseño y construcción, importantes para todas las estructuras, son igualmente importantes cuando se usa este aditivo, para permitirle tener el rendimiento que se describe.

Se ha reconocido que el tiempo de curado tiene un impacto importante en la resistencia a la permeabilidad y a la corrosión. Los períodos más largos de curado son benéficos. El proceso de curado proporciona una pérdida controlada de humedad a medida que ocurre el proceso de hidratación. La reducción agua de sangrado con el concreto modificado por el aditivo permite un acabado más temprano y aumenta la necesidad de un curado temprano y adecuado. En las especificaciones del ACI 301 y AASHTO se documentan vibración y acabado apropiados, y las cantidades excesivas o inadecuadas de cualquiera de ambos pueden nulificar las ventajas de una mezcla de concreto de calidad. Este aditivo, cuando se emplea con un diseño y una construcción de calidad, proporciona un concreto impermeable al agua, dando como resultado una resistencia incrementada a la corrosión y una durabilidad mejorada.

### **Historias de casos**

Desde principios de los años setenta este aditivo se ha utilizado en más de 50 estructuras de estacionamientos, tanques de agua, albercas, más de 100 sistemas de muros de cimientos por debajo de la rasante en edificios comerciales, carpetas de cimentación, varias plantas de tratamiento de aguas negras, y en más de 250 puentes. Las historias de los siguientes cinco casos demuestran el uso del aditivo y han sido seleccionadas para representar la variedad, la singularidad y los ambientes severos.

#### *Estacionamientos C y D del aeropuerto internacional de Filadelfia (1976)*

Los estacionamientos C y D del aeropuerto internacional de Filadelfia contienen aproximadamente 102,000 m<sup>2</sup> de área. El aditivo se utilizó para impermeabilizar las placas, para proteger contra los cloruros y para asegurar la durabilidad. Después de 20 años de servicio, la capa de desgaste de concreto todavía está en buenas condiciones. En un nuevo garaje de 84,000 m<sup>2</sup> construido en la expansión de 1990, se usó el aditivo en todas las capas de desgaste de concreto para asegurar el mismo excelente nivel de rendimiento.

El área de Filadelfia experimenta inviernos severos, requiriendo el uso regular de productos químicos descongelantes durante numerosos ciclos de congelación-deshielo. En septiembre de 1991, se examinaron las placas de los garajes C y D del estacionamiento para determinar el grado de deterioro de las capas de desgaste de concreto. El informe final estableció: "En nuestra opinión y experiencia, las placas de concreto modificados con el aditivo en este proyecto han probado ser más durables que las placas comparables de concreto no modificado, de la misma edad.

#### *Edificio de las oficinas principales de Humana Inc., Luisville, Kentucky (1983)*

Este edificio de oficinas de gran altura tiene un garaje de concreto de dos pisos por debajo de la rasante, que debe resistir hasta 4.9 m de presión hidrostática del cercano río Ohio. Esta estructura está cimentada sobre una losa de presión de concreto (con el aditivo) que mide 65.5 x 51.8 m con un grosor de 1.5 y 0.8 m. Los muros exteriores de concreto con el aditivo son de 0.30 metros.

#### *Pabellón noruego. Centro EPCOT, Orlando, Fla. (1987)*

El paseo acuático dentro del Pabellón de Noruega consta de botes que se mueven a través de un canal de concreto construido en la rasante y en secciones elevadas. También hay una laguna y un área para almacenar botes. Este aditivo se usó en todo el concreto de las estructuras para retención de agua. Este mismo aditivo se usó también en el concreto de estructuras para la retención de agua en el paseo acuático de Splash Mountain en el Disneylandia de Anaheim, California, y en la carpeta estructural de cimentación del paseo acuático del Splash Mountain en el Mundo de Disney en Orlando, Florida. El uso del concreto con este aditivo en estos dos parques de renombre mundial data de los años setenta.

#### *Barcaza de concreto, Golfo de Honduras. Belice, América Central (1981)*

Esta barcaza de concreto tiene una longitud total de 114.3 m, una viga de 17.1 m, un peralte de la cubierta principal de 11.6 m y un tonelaje neto de 4,805 toneladas métricas, y fue construida en 1943. Una inspección de la barcaza en 1981 mostró varias grietas, astillamientos y áreas de vacío aparentemente causados por daño en el contacto con otros navíos durante la transferencia de carga y por corrosión electroquímica. Casi todo el deterioro estaba localizado a 4.6 m por debajo de la línea de la cubierta. Las grietas no se extendieron dentro o a través del amazón. Por medio de las pruebas de martillo se localizaron numerosas áreas de vacíos a ambos lados del casco, las cuales fueron quitadas, exponiendo la capa más exterior de las varillas de refuerzo.

El método de reparación elegido fue reemplazar el concreto removido usando remiendo y material de recubrimiento modificado con el aditivo. Antes de ser aplicados los materiales de reparación, se prepararon las áreas quitando todo el material flojo y sopleteando con arena toda la superficie de la barcaza. Después de completar las reparaciones, la barcaza fue puesta en servicio, ahora como un tanque de almacenamiento en el Golfo de Honduras. El ambiente extremoso de calor y agua salobre hizo de éste un proyecto retador. Dos años más tarde, otra barcaza de tamaño y construcción similares fue reparada en el Lago Charles, La, empleando los mismos materiales y técnicas.

#### *Puentes de carreteras troncales de Pennsylvania (1973-1974)*

Ocho puentes de carreteras troncales fueron reemplazados entre Bedford y Somerset, Pa. Se usó el aditivo en el tablero de concreto de uno de los puentes. Estas estructuras se expanden aproximadamente 3.1 m, tienen 24.4 m de ancho, y contienen 20 losas premoldeadas de 1.2 m de ancho. Todos los puentes están localizados dentro de una sección de 8 km con similares condiciones de exposición y tránsito. y reciben una

sección de 6 mm con un mayor contenido de exposición y tránsito, y recibió una aplicación pesada de sales descongelantes. En 1981, una inspección mostró que los tableros que contenían el aditivo no presentaban ningún deterioro. Todos los otros tableros exhibían deterioro en forma de grietas acompañadas de eflorescencia y astillamiento.

En 1991 se realizó un estudio del comportamiento del concreto en estos puentes. Junto con la inspección visual y el mapeo de las grietas y la delaminación, las pruebas incluyeron ASTM C 114, C 642, C 856, C 876, y AASHTO T 277.

Los hechos presentados en el informe revelan que el puente de 17 años de edad que contenía el aditivo tenía un comportamiento superior y excelente resistencia a la corrosión del acero de refuerzo. El comportamiento del concreto modificado con este aditivo comparado con el concreto de control se muestra en el cuadro 3.

#### **El informe establece:**

1. No hubo corrosión significativa del acero de refuerzo observado en el concreto (modificado con el aditivo).
2. Las losas que contenían el aditivo exhibían mínima corrosión del refuerzo después de 17 años de exposición a cantidades significativas de agua y de sales descongelantes.
3. Las losas que exhibían trastornos visibles tenían potenciales altos de media-celda, excepto las que contenían el aditivo. Tales losas tenían áreas de altos potenciales, pero no exhibían trastornos.
4. Las losas de los tableros que contenían el aditivo se habían comportado visiblemente mejor que las estructuras de control. Los corazones tomados de las losas verificaron estas observaciones. Se notó menos corrosión en los tableros de concreto (modificados con el aditivo), aun cuando tenían condiciones similares de exposición y eran un año más viejos.

#### **Resumen**

El concreto que contenía el aditivo exhibía propiedades que se sabe reducen la corrosión del acero de refuerzo; la reducción de la permeabilidad parece ser la más importante de todas. La baja permeabilidad del concreto y el adecuado recubrimiento del acero de refuerzo son consideraciones importantes en una estrategia de protección contra la corrosión, y deben incorporarse en el diseño de estructuras de concreto reforzado que estén expuestas a sales descongelantes, sales marinas y ambientes de congelación y deshielo.

Al reducir la permeabilidad del concreto se reduce la transmisión de iones de cloruro, con lo que se reduce la corrosión del acero ahogado y el deterioro. Los programas de prueba y las observaciones de campo verifican que el aditivo incrementa la impermeabilidad, protege contra los cloruros y mejora la durabilidad del concreto cuando se coloca de acuerdo con ACI, AASHTO, y otros estándares industriales aplicables.

Los tres programas de pruebas de permeabilidad y los tres programas de prueba a la penetración de iones de cloruro aquí descritos muestran que la adición del aditivo para controlar el concreto da como resultado una reducción de 75 por ciento de la concentración del ion cloruro en el refuerzo. El método prototipo de flujo de aire SHRP para probar la permeabilidad muestra una reducción promedio de 75 por ciento en el flujo de aire superficial en el concreto que contiene el aditivo, en comparación con el concreto de control en el laboratorio y en las pruebas de campo.

Se describen historias de casos que se extienden a lo largo de 20 años, demostrando que el aditivo protege exitosamente el acero de refuerzo en ambientes corrosivos y reduce el deterioro del concreto. Este rendimiento se logra en una amplia gama de relaciones agua / cemento y de otros factores del cemento.

Otros beneficios que se derivan del uso del aditivo incluyen durabilidad mejorada a congelación y deshielo, resistencia a la reacción de álcalis-sílice (ASR), y calor de hidratación reducido.

El aditivo es compatible con otros aditivos y no afecta inversamente las propiedades básicas del concreto (AASHTO M 194). Se puede utilizar en estacionamientos, estructuras para la contención de agua, losas para carpetas de cimentación, muros de cimentación, plantas de tratamiento de agua y aguas residuales, pisos, bóvedas de servicio público, túneles, y estructuras de carreteras.

\* El aditivo descrito aquí es el Ipanex, fabricado por IPA Systems, Inc. Philadelphia. Pa.

### Referencias

1. ACI 222R-89. "Corrosion of Metals in Concrete", American Concrete Institute, Detroit, 1989.
2. AASHTO-AGC-ARTBA Joint Committee, Subcommittee on New Highway Materials, Task Force 32 *Report*, Manual for Corrosion Protection of Concrete Components in Bridges.
3. Strategic Highway Research Program, National Research Council, SHRP - S-329, *Condition Evaluation of Concrete Bridges Relative to Reinforcement Corrosion: v. 7 - Method for Field Measurement of Concrete Permeability*.

### ILUSTRACIONES

Figura 1. Prueba núm. 1 de permeabilidad al agua: Método de prueba (modificado) CRD-C 48, para la permeabilidad al agua del concreto.

Cuadro 1 - Prueba núm. 2 de permeabilidad al agua

---

Cilindro Concreto Clase S Concreto clase S con aditivo

---

Profundidad promedio de penetración de H <sub>2</sub> O, cm	Volumen de penetración de H <sub>2</sub> O, cm <sup>3</sup>	Profundidad promedio de penetración de H <sub>2</sub> O, cm	Volumen de penetración de H <sub>2</sub> O, cm <sup>3</sup>
---	---	---	---

---

Control 1	2.67 (6.8)	152.31	
-----------	------------	--------	--

Control 2	2.67 (6.8)	130.43	
-----------	------------	--------	--

Con aditivo 1	1.28 (3.2)	81.07	
---------------	------------	-------	--

Con aditivo 2	1.16 (2.9)	59.45	
---------------	------------	-------	--

Con aditivo 2 1.16 (2.9) 58.45

Promedio 2.67 (6.8) 141.37 1.22 (3.1) 69.76

---

*Nota:* Profundidad promedio de penetración de concreto clase S / Profundidad promedio de penetración de concreto clase S con aditivo =  $2.67 / 1.22 = 2.19$

Volumen promedio del flujo de H<sub>2</sub>O clase S / Volumen promedio del flujo de H<sub>2</sub>O clase S con aditivo =  $141.37 / 69.76 = 2.03$ .

---

Cuadro 2. Prueba núm. 1 de flujo de aire en la superficie\*

Los materiales usados son del área de Miami, Fla.

*Nota:* Porcentaje de reducción usando aditivo: 6-15-95: 62 por ciento; promedio de 6-15-95 y 6-26-95: 66 por ciento.

Figura 2. Corriente de corrosión

Figura 3. Potenciales de media-celda

Figura 4. Contenidos de cloruro

Cuadro 3. Puentes de carreteras troncales de Pennsylvania

---

Puente que contiene Promedio de siete

aditivo puentes de control

---

Delaminaciones 2 ft<sup>2</sup> (0.2 m<sup>2</sup>) 135 ft<sup>2</sup> (12.5 m<sup>2</sup>)

Astillamientos Ninguno 20 ft<sup>2</sup> (1.9 m<sup>2</sup>)

Agrietamiento 3 ft (0.9 m) 90 ft (27.4 m)

Durabilidad Excelente Pobre

Resistencia a la corrosión del Excelente Pobre acero de refuerzo

---

James R. Miller, miembro del ACI, tiene 38 años de experiencia en trabajos de pruebas, ingeniería civil y estructural.

David J. Fielding, miembro del ACI, es un ingeniero en estructuras y profesor de ingeniería civil y arquitectura en la Universidad de Drexel. Es miembro del Comité 362, Estructuras de Estacionamientos.



Este artículo se publicó en *Concrete International* y se reproduce con la autorización del American Concrete Institute.



## Matenimiento y durabilidad de las estructuras

Algunos podrían pensar que la cuestión del mantenimiento y la durabilidad de las estructuras de concreto es un asunto tan bien conocido que no hay necesidad de escribir sobre ello. Desgraciadamente no es así. De hecho, este es un tema que es de vital importancia a una escala verdaderamente internacional y gigantesca. Internacional, porque el concreto es, sin lugar a dudas, el material de construcción más ampliamente usado en todo el mundo, y sin embargo, las estructuras de concreto con demasiada frecuencia dejan mucho que desear. Gigantesca, porque el costo del mantenimiento, reparación y rehabilitación, en dinero gastado o que debe ser gastado, alcanza anualmente billones de dólares. Por ejemplo, en el Reino Unido, 40 por ciento del gasto en la construcción se destina a la reparación y el mantenimiento. Esto representa 4 por ciento del Producto Interno Bruto.

### Actitudes anteriores

Una parte de la dificultad para establecer la importancia de mi tema se debe al hecho de que la comunidad internacional de ingeniería estuvo, durante muchos años, bastante equivocada en lo relativo a la durabilidad de las estructuras de concreto y a la necesidad de su mantenimiento. A este respecto, yo soy tan culpable como cualquier otro, y es mejor admitirlo. En la primera edición de mi libro, *Propiedades del concreto*, publicada en 1963, escribí lo siguiente: "Generalmente el requisito principal de un buen concreto en su estado endurecido es una satisfactoria resistencia a la compresión. Esto no sólo para asegurar que el concreto pueda soportar un esfuerzo a compresión prescrito, sino también porque muchas otras propiedades deseables del concreto son concomitantes con la alta resistencia." La declaración era demasiado apresurada - aun cuando yo estaba claramente consciente de los problemas específicos de durabilidad tales como los ataques de sulfatos y el deterioro debido a los ciclos de congelación y deshielo y a las sales descongelantes-, y dediqué uno de cada diez capítulos a la durabilidad. Pero en aquellos días se ponía énfasis en la resistencia y existía la creencia de que un concreto resistente era un concreto durable. Por ejemplo, el Reglamento Británico de la Práctica para el Concreto Reforzado

Aquí! 

### Resumen:

El autor de un importante libro que lleva ya varias ediciones en distintos países se refiere aquí al tema de la durabilidad de las estructuras y hace un recuento de los requisitos que es preciso cumplir durante el proceso de construcción para lograr que "un buen concreto en la mezcla se convierta en un buen concreto en la estructura en servicio. Insiste además en el mantenimiento como condición indispensable para una larga vida de las obras.

en Edificios, CP 114, publicado en 1969, (es decir, seis años después de mi libro), decía simplemente lo siguiente acerca de la durabilidad: "Mientras mayor sea la severidad de la exposición, mayor será la calidad del concreto requerido." El consejo al diseñador respecto al recubrimiento se resumía en las palabras: "Es esencial que sea denso, impermeable, y de una calidad adecuada para las condiciones de exposición involucradas." Aunque este era un reglamento británico, se usó indirectamente en algunos otros países.

Lo que acabo de escribir explica por qué tantas estructuras construidas en los años sesenta y setenta tienen una pobre durabilidad y necesitan mucha reparación. La situación ha cambiado muy sustancialmente, y los reglamentos modernos ponen énfasis en la durabilidad, pero no necesariamente usando el procedimiento correcto. En esta coyuntura, me gustaría expresar unas palabras de advertencia, citándolas de la cuarta edición de mi libro, *Propiedades del concreto*, publicada en 1996: "Se sabe ahora que, para muchas condiciones de exposición de las estructuras de concreto, tanto la resistencia como la durabilidad deben ser consideradas explícitamente en la etapa de diseño. El énfasis se centra en las palabras "tanto...como", porque sería un error reemplazar un excesivo énfasis en la resistencia por un excesivo énfasis en la durabilidad."

## **Mantenimiento**

A este respecto, también nos equivocamos en el pasado. Hace 30 años, el punto de vista, defendido fuertemente por muchos fabricantes de cemento, era que el concreto no necesitaba mantenimiento, a diferencia del acero, el cual tenía que ser pintado repetidamente. Incluso muy recientemente, en 1969, el Código Británico de la Práctica CP 114 declaraba: "No debe ser necesario mantenimiento estructural para el concreto denso estructurado de acuerdo con este código."

Ahora sabemos que esto no es verdad, pero todavía hay mucha vaguedad en cuanto al tipo de mantenimiento que hay que proveer. Me gustaría considerar este tema antes de regresar a la durabilidad debido a que, tal como lo veo, para asegurar ésta, no es basta hacer concreto durable, sino también es necesario implementar un sistema de procedimientos para un mantenimiento regular. Por lo que acabo de decir, debe quedar claro que me estoy refiriendo a

mantenimiento preventivo, y no a reparación en la etapa en que ya ha tenido lugar un deterioro sustancial.

El mantenimiento incluye, como primer paso, una inspección periódica de la estructura. El inspector debe estar familiarizado no sólo con el concreto como material, sino también con la acción estructural. Por ejemplo, si se observa agrietamiento, el inspector debe ser capaz de distinguir entre grietas debidas a la sobrecarga de una estructura apropiadamente diseñada o causadas porque la estructura es inadecuadamente fuerte, por un lado, y grietas inducidas por la corrosión del refuerzo o por la acción química -incluyendo la reacción álcali-agregado-, o por la formación retardada de ettringita, o por los efectos térmicos, por otro lado. El inspector debe tener también el suficiente tacto para no alarmar a los ocupantes de las oficinas y, sobre todo, de los departamentos, quienes podrían apresuradamente llegar a la conclusión de que su estructura se encuentra en problemas.

El mantenimiento que siga a la inspección debe comprender pequeños trabajos de reparación. Reparar significa hacerlo bien, pero antes de efectuar cualquier trabajo de reparación sustancial, para distinguirlo del cosmético; es esencial establecer plenamente la extensión y las causas del problema. De otro modo, el problema puede ser recurrente y requerir trabajos repetidos de reparación. De modo que no puedo exagerar la importancia de entender las causas del deterioro y daño aparentes. Daré algunos ejemplos.

Es posible que las grietas observadas se deban a cambios en la temperatura o en la humedad, en combinación con una restricción de la deformación. Puesto que estos cambios continuarán ocurriendo en el futuro, llenar simplemente las grietas con un material rígido dará como resultado la aparición de nuevas grietas, probablemente justo en la cercanía de las antiguas. Lo que se necesita es emplear un material de relleno flexible que pueda acomodarse alternando la contracción y la expansión en el futuro. Además, debido a que la deformación que ha de acomodarse sólo puede desarrollarse sobre cierto ancho mínimo, puede ser de hecho benéfico ensanchar la grieta antes de rellenarla.

Otro ejemplo de movimiento reversible de grietas es cuando el agrietamiento se debe a movimientos de suelo, el cual es también reversible. Esta situación ocurre, por ejemplo, en

arcillas, como consecuencia de un prolongado período de clima caluroso, en lugares donde existen grandes árboles en la vecindad de la casa. Rellenar las grietas puede ser dañino, ya que evitaría que las mismas se cerraran cuando la arcilla quede restaurada. Este es un caso donde el mejor mantenimiento es no hacer nada, pero el inspector debe ser capaz de reconocer la situación. Es decir, darse cuenta de la causa del agrietamiento.

Una posibilidad más es que las grietas sean estables y antiguas, debido a una contracción anterior, o a tensiones térmicas iniciales. En tal caso, una solución adecuada probablemente sea rellenar con un material de remiendo.

Si la grieta es derecha y sigue el refuerzo, lo más probable es que se trate de agrietamiento por corrosión, y ésta es precisamente lo que hay que tratar, y no solamente la grieta en sí. En otras palabras, las reparaciones son inútiles si persisten las causas de la corrosión. Con esto quiero decir que si hay cloruros cerca de la superficie del acero de refuerzo, la corrosión continuará a menos que se puedan inducir condiciones de sequedad. Inclusive es inútil reemplazar el concreto en la zona del recubrimiento si los cloruros pueden continuar ingresando hacia la superficie del acero. Para determinar si ha estado ocurriendo tal migración, es necesario determinar el perfil del contenido de cloruro sobre la profundidad del recubrimiento de concreto o inclusive más. La forma del perfil hará posible determinar la fuente del cloruro. Por ejemplo, si la cantidad de cloruro en el concreto es aproximadamente constante con la profundidad, esto sugeriría ciertamente que el cloruro estaba en el concreto en el momento de su colocación. La fuente de los cloruros pudo haber sido el agua de mezclado, ya fuera salina o salobre, o el agregado, si estaba contaminado con cloruros. Si el perfil es variable, generalmente decreciente desde la superficie del concreto hacia adentro, entonces los cloruros ingresaron después de haber sido colocado el concreto. He visto en el Medio Oriente, casos en los que estaban presentes ambas fuentes de cloruros. Tal situación subraya la necesidad de una interpretación cuidadosa e inteligente de los resultados de las pruebas. Una mente abierta y una actitud inquisitiva son requisitos esenciales para el inspector a cargo del mantenimiento.

La corrosión también puede deberse a la despasivación del acero como consecuencia de la carbonatación de la pasta de

cemento hidratada. Esta es la causa más probable por encima del nivel del suelo en las áreas de tierra adentro. La determinación de la profundidad de carbonatación es muy simple, y el reemplazo de la cubierta de concreto por un material apropiado probablemente pueda proporcionar una solución duradera.

### **Medidas curativas**

Al decidir cómo solucionar un problema encontrado en el curso de la inspección, es vital que la acción que se tome no agrave el problema. Esto es obvio, y, sin embargo, en más de una ocasión he visto la siguiente secuencia de hechos.

Un techo plano se comba, de modo que se forma un charco de agua que puede causar filtraciones. El pretendido remedio consiste en poner una capa adicional de un material más o menos impermeable. Si esta capa es de 50 mm (2 pulg) de concreto, este peso muerto adicional incrementa la deflexión, inclusive si se lo coloca hasta tener una superficie plana. Después de un tiempo, se forma un charco y se repite el "remedio." La carga incrementada puede, con el tiempo, inducir agrietamiento en la losa original del techo, incrementando así las filtraciones. No hace falta describir lo que sigue.

El título de este artículo no incluye la palabra "reparaciones" pero, como ya he indicado, ese tema no puede divorciarse totalmente del mantenimiento. La consideración de los métodos de reparación debe incluir las expectativas del propietario sobre la estructura. Por ejemplo, ¿es importante la apariencia de ésta? En una ocasión me vi involucrado en el caso de un conjunto de edificios para oficinas lujosas, en una localidad exclusiva de Australia, donde el propietario no aceptaba ningún método local de reparación que pudiera afectar la apariencia fina y uniforme de la fachada. Otra pregunta que hay que hacerse es: ¿tiene importancia la serviciabilidad? Por ejemplo, ¿el uso de un edificio es tal que los pisos tengan que estar bien nivelados, o es la resistencia la única consideración?

Todavía más importante es la cuestión: ¿cuál es la vida de servicio esperada de la estructura? ¿Es suficiente repararla de modo que resista durante algunos años, y después demolerla para dar espacio a una nueva estructura? ¿O existe una vida específica, digamos 30 años, requerida, en cuyo caso las

reparaciones tienen que ser mucho más sustanciales? Y, por supuesto, las reparaciones sustanciales pueden ser tan antieconómicas que la demolición y el reemplazo ofrezcan la mejor solución. Volveré sobre este tema.

Existe también otra cuestión. ¿Hay algún peligro para los ocupantes o para el público en caso de que algo marche mal? ¿Es posible clausurarla, de modo que puedan efectuarse las reparaciones de una vez, de la manera más conveniente y efectiva? Este no fue ciertamente el caso de una planta procesadora de gas natural en la que yo tuve que ver: las consecuencias de un cierre, inclusive por un corto período de tiempo, atentaban contra el uso de métodos de reparación más baratos, pero más lentos. La conveniencia, con lo cual quiero decir interferencia mínima con el uso de una estructura porque ésta se utiliza como una residencia u oficina, puede tener un efecto similar e indicar una solución más costosa. Esto puede llevar a la pregunta fundamental sobre si es preferible una reparación, o construir una nueva estructura por completo. Por ejemplo, construir un nuevo puente al lado de otro ya deteriorado, y después demoler este último, no interferiría con el tránsito y podría ser la solución preferida.

- Todas estas consideraciones tienen que tomarse en cuenta al elegir la opción de reparación apropiada. En términos generales, las opciones son las siguientes:
- Permitir que continúe el deterioro, pero inspeccionar la estructura con la suficiente frecuencia para saber cuándo está por terminar su vida útil y segura.
- Demoler la parte dañada de la estructura y construir una nueva en su lugar o en otra parte. Vale la pena tener en mente que en otra parte podría ser, finalmente, preferible.
- Reparar las partes dañadas, pero no tomar otras medidas.
- Reparar sustancialmente, de modo que no haya deterioro en el futuro.

Cualquier decisión en las reparaciones incluye la elección de los materiales de reparación. Este es un asunto importante, y me limitaré a hacer una lista de las características que debe tener el material de reparación: adecuada resistencia a la

compresión y al cortante; módulo de elasticidad y coeficiente de expansión térmica similares a los del concreto original; baja contracción por secado; compatibilidad química con el sustrato y una velocidad de ganancia de resistencia suficientemente alta. En casos específicos, puede haber requisitos adicionales tales como los concernientes a fluencia.

Estoy subrayando la importancia de la inspección sistemática, ya que creo en ella, pero tengo que admitir que tal práctica no está muy extendida en el Reino Unido. Por lo regular, se efectúa una inspección cuando existe una razón para sospechar que puede haber ocurrido algún daño, o cuando se tienen dudas respecto a lo adecuado de la estructura. Un ejemplo de esto último es cuando el concreto se ha hecho con cemento con alto contenido de alúmina. Yo personalmente llevé a cabo una cantidad de tales inspecciones.

En algunas plantas industriales, los procedimientos generales de mantenimiento pueden incluir el concreto. Por ejemplo, en una planta importante y sensible a la seguridad, había una instrucción al respecto que decía que "el comportamiento del concreto debe continuar observándose como un asunto de mantenimiento rutinario". Vale la pena citar con mayor detalle las instrucciones relevantes: "Los objetivos de las operaciones de mantenimiento son asegurar que el equipo instalado pueda llevar a cabo su trabajo asignado por el período de tiempo deseado con un alto grado de confiabilidad, sin menoscabo de la economía general de la operación y de la seguridad del personal y de la planta".

Hay dos métodos básicos por los cuales pueden lograrse estos objetivos. El más usual consiste en llevar a cabo la reparación y la rehabilitación cuando falla un aspecto, o cuando cae por debajo de un estándar aceptable. Esto es un mantenimiento correctivo. El segundo método consiste en intervenir en el ciclo de vida de cada aspecto inmediatamente antes de que pueda esperarse que falle, y restaurarlo a un estándar aceptable. Esto es mantenimiento preventivo. Dependiendo de la naturaleza de la estructura y de las consecuencias de la falla en términos de vida, salud y dinero, debe emplearse uno u otro tipo de mantenimiento. Vale la pena hacer notar que aun en el caso de mantenimiento correctivo, la expresión crítica es "estándar aceptable," y no tan bueno como cuando era nuevo.

Creo que debo explicar por qué he tratado el mantenimiento

antes de considerar la durabilidad. La razón es que el mantenimiento se aplica a todas las estructuras, inclusive a aquellas que pensamos que fueron diseñadas para ser verdaderamente durables. Además, un gran número de estructuras ya existentes son, en mayor o menor medida, deficientes con respecto a la durabilidad, y lo mejor que podemos hacer por ellas es asegurarles un mantenimiento regular y apropiado.

### **Asegurando la durabilidad**

Mirando hacia adelante, debemos preguntarnos: ¿Qué debemos hacer para asegurar que las estructuras de concreto construidas en el futuro sean más durables que las construidas en los últimos 30 años? Debo agregar que los últimos cinco o siete años han mostrado un mejoramiento considerable, pero aún tenemos que efectuar un cambio mayor. Hablando en términos generales, la durabilidad de las estructuras de concreto depende de la elección de la mezcla de concreto y de la ejecución de las operaciones de colado. Además, la durabilidad puede verse afectada por la forma y los moldes de la estructura, que influyen en el humedecimiento y el secado, así como por la variación de la temperatura. Un ejemplo particularmente elocuente es la diferencia en la durabilidad de los rompeolas en el agua del mar. Los trabajos en Noruega han mostrado que las losas planas se comportan mucho mejor que la construcción con vigas y losas. La exposición al sol y el patrón de mojado y secado pueden ser también factores significativos.

Trataré ahora de la influencia de las operaciones del colado del concreto sobre la durabilidad. Afortunadamente, para asegurar una buena práctica en la construcción, no necesitamos nuevos conocimientos ni nuevas investigaciones. Sin embargo, desde el punto de vista del aseguramiento de la durabilidad, la construcción de estructuras de concreto presenta problemas generalmente ausentes en, por ejemplo, la construcción industrial. En términos de estándares de sistemas de calidad, la construcción es un "proceso especial". Esto significa que una estructura de concreto es un producto que no puede verificarse por inspección y prueba en su estado acabado: las deficiencias pueden ser notorias sólo con el paso del tiempo. Así pues, es evidente la enorme importancia de una supervisión adecuada a fin de asegurar que la ejecución de la construcción cumpla con la especificación.

Para ser brutalmente franco, una falta de supervisión probablemente dé como resultado una pobre calidad de la construcción, debido a la ignorancia, pereza o avaricia de algunas gentes involucradas. Uno de mis ejemplos favoritos es el inadecuado curado húmedo del concreto, y debo empezar por explicar por qué el curado es tan importante para asegurar la durabilidad. El curado afecta principalmente al concreto del recubrimiento del refuerzo, y por definición, este es el concreto que protege al refuerzo contra la corrosión causada por el ingreso de agentes agresivos. Vale la pena recordar que el recubrimiento adecuado, en cuanto a espesor y calidad, es necesar también para otros propósitos -para transferir las fuerzas en el refuerzo, para proporcionar al acero resistencia contra el fuego y para proveer un ambiente alcalino en la superficie del acero.

Se especifica curado húmedo en la mayor parte de los proyectos de construcción, pero rara vez se logra. Al igual que la dosificación y el mezclado, el curado requiere una supervisión cuidadosa, pero en mi experiencia, no solamente en el Reino Unido sino también en los países con grandes desiertos, el curado se deja al hombre que tiene la manguera de agua, o a veces a nadie. Debo subrayar que no estoy sugiriendo una modificación de las especificaciones, sino un cambio en la práctica. Actualmente, el curado no se paga aparte en la Lista de Cantidades. Desde mi punto de vista, el curado debería estar separado del ítem general de colocación del concreto, y pagarse por el consumo de agua, o por hombres-hora, o de alguna otra forma.

El lector puede tener la impresión de que el curado es un asunto de muy bajo valor técnico. Pero una falla en algo de poco valor técnico puede arruinar una operación de alta tecnología, y, de todas maneras, el concreto es un material de baja tecnología en el sentido de que se usa en cualquier parte del mundo, en cualquier condición, y en muy grandes cantidades.

No discutiré ningún otro aspecto de la operación en el sitio, sólo quiero repetir simplemente que la supervisión apropiada es esencial para asegurar que el buen concreto que viene de la mezcladora se convierta en un buen concreto en la estructura en servicio.

## Selección de la mezcla

Es particularmente importante que elijamos una mezcla de concreto que dé como resultado una estructura durable. Empezaré por explicar específicamente lo que señalé anteriormente: por qué las estructuras construidas antes de los años ochenta son más durables que las construidas en los 20 años siguientes. Hubo un cambio en las propiedades del cemento portland, al menos en muchos países europeos, en ese período. El cambio de mayor interés práctico se dio en el incremento de la resistencia a 28 días, a  $\lambda$  con una relación fija de agua/cemento ( $a / c$ ). La razón principal de esto fue un gran incremento en el contenido de silicato tricálcico; en promedio, este pasó de aproximadamente 47 por ciento en 1960 a cerca de 54 por ciento en los años setenta, en el Reino Unido. En Francia, el incremento entre mediados de los años sesenta y 1989 fue de 42 a 58 por ciento. Este cambio fue posible por las mejoras en la fabricación del cemento, pero también es el resultado de los beneficios de usar cemento "más fuerte", según lo perciben los usuarios. Expresamente, reducción en el contenido de cemento para una resistencia especificada dada, remoción más temprana de las cimbras y construcción más rápida.

Lamentablemente, estos beneficios fueron asociados con desventajas. Por ejemplo, en el Reino Unido, en 1970, el concreto con una resistencia característica de cubos de 32.5 MPa requirió una  $a / c$  de 0.50. En 1984, la misma resistencia del cubo podía lograrse usando una  $a/c$  de 0.57. Los diseñadores continúan especificando la misma resistencia característica, de modo que los productores de concreto pudieron aprovechar las ventajas de este cambio en la resistencia a 28 días cambiando las proporciones de la mezcla. Ellos tuvieron que mantener la misma trabajabilidad y, por lo tanto, el mismo contenido de agua en litros por metro cúbico, pero pudieron rebajar el contenido de cemento de la mezcla. Éste se pudo reducir en 60 a 100  $k/m^3$  de concreto. El incremento concomitante en la  $a / c$  estuvo entre 0.09 y 0.13.

Aun cuando no era ampliamente conocido entonces, todos sabemos ahora que el concreto con una  $a / c$  más alta y menor contenido de cemento tiene una mayor permeabilidad, y es, por lo tanto, más sensible a la carbonatación y a la penetración por agentes agresivos. En otras palabras, aun cuando la resistencia a 28 días continuó sin alterarse, el concreto hecho

con los "nuevos" cementos tenía una menor durabilidad. Esto nos regresa a la observación que hice al principio de este estudio: que la resistencia a compresión no es una medida adecuada de la durabilidad.

Quizás valga la pena mencionar dos efectos negativos adicionales sobre la durabilidad. Primero, la rápida ganancia temprana de resistencia de los "nuevos" cementos significa que las cimbras podían quitarse más rápidamente, de modo que el curado efectivo terminaba a una edad más temprana. Segundo, los "nuevos" cementos exhibían un incremento mucho menor en la resistencia más allá de la edad de 28 días, de modo que no existía el mejoramiento a largo plazo del concreto que, en el pasado, había dado seguridad a los usuarios, aun si tal mejoramiento no se tomaba en cuenta en el diseño estructural.

En mi opinión, algunos de los reglamentos y estándares existentes son demasiado indulgentes para condiciones extremas de exposición. Por ejemplo, no sería sensato confiar demasiado en el Estándar Británico BS 5328:1991 para condiciones más severas que las del Reino Unido, y tal vez incluso para ciertas condiciones en ese país. Desgraciadamente, ese estándar todavía expresa el punto de vista de que una resistencia satisfactoria "asegurará en general que los límites en una  $a / c$  y un contenido de cemento libres se cumplirán sin mayor verificación". El abanico de materiales cementantes disponibles hace que esta presunción no quede garantizada. En particular, los trabajos alemanes han demostrado que algunos materiales cementantes incrementan la resistencia a la compresión del concreto, pero la mayor resistencia no necesariamente contribuye a la resistencia a la congelación y al deshielo o a la carbonatación. Así pues, una vez más, estoy expresando el punto de vista de que la resistencia por sí sola no puede utilizarse como un indicador de la durabilidad.

También es importante hacer notar que el contenido de cemento como tal no controla la durabilidad. La controla sólo en la medida en que influye en la  $a / c$  a una trabajabilidad dada. Además, considerando la confianza en un contenido mínimo de cemento, debe recordarse que este valor se aplica a un volumen unitario de concreto, mientras que la durabilidad depende en gran medida de las propiedades de la pasta de cemento hidratada. Así pues, lo relevante es el contenido de

cemento de la pasta. Habiéndome mostrado crítico de la BS 5328: 1991, debo admitir que dicho estándar reconoce la situación recomendando un ajuste al contenido de cemento requerido como una función del tamaño máximo del agregado, ya que el volumen relativo de la pasta de cemento en el concreto es menor mientras mayor es el agregado.

### **Concreto de alto comportamiento**

Antes quiero dar una explicación de lo que ha sucedido, no de manera subrepticia sino imperceptible, hasta donde concierne al diseño de la durabilidad. Ahora lo sabemos mejor. Ahora, pues, estamos en condiciones de seleccionar proporciones de mezcla de tal modo que podamos asegurar la durabilidad deseada, aunque aún no podamos producir gráficas o cuadros para una selección automática de las proporciones de la mezcla. En mi opinión, los varios programas de computación que existen en el mercado pueden ser útiles, pero no son una fuente de conocimiento técnico. Una dificultad reside en que no podemos describir las condiciones de exposición, especialmente el microclima, por medio de un número. Sin embargo, podemos seleccionar y producir el llamado concreto de alto comportamiento. Estoy empleando este término porque ha llegado a aceptarse, pero me parece que es más bien pretencioso. El concreto de alto comportamiento es un concreto seleccionado de modo que pueda adecuarse a los propósitos para los cuales se requiere. No hay ningún misterio en ello; no se necesitan ingredientes inusuales, ni hay que utilizar equipo especial. Todo lo que necesitamos es una comprensión del comportamiento del concreto, y la voluntad para producir una mezcla dentro de tolerancias muy controladas.

Veamos los ingredientes que han de utilizarse al hacer concreto de alto comportamiento. Ya hemos visto que la  $a / c$  por sí sola no determina la resistencia del concreto. En particular, los concretos que contienen tanto escoria granulada de alto horno como humo de sílice, ofrecen una resistencia particularmente buena. El humo de sílice reduce la permeabilidad de la zona de transición alrededor de las partículas del agregado tan bien como la permeabilidad de la pasta de cemento en bruto. En términos relativos, la influencia del humo de sílice sobre la permeabilidad es mucho mayor que sobre la resistencia a la compresión.

La permeabilidad reducida del concreto que contiene humo de sílice da como resultado una mejor resistencia al ingreso de iones agresivos, tales como los cloruros. En el caso de ataques de sulfatos, hay un beneficio adicional en que el humo de sílice reduce el contenido de hidróxido de calcio y de alúmina, los que llegan a incorporarse en el hidrato del silicato de calcio. El humo de sílice también es particularmente efectivo para controlar la reacción expansiva álcalis-sílice.

La esencia del concreto de alto comportamiento es su muy pequeña penetrabilidad, debido a una estructura particularmente densa de la pasta de cemento hidratada, con un sistema de poros capilares discontinuo. Por lo regular, esto requiere un contenido muy alto de material cementante, entre 450 y 550 kg/m<sup>3</sup>, representando el humo de sílice de 5 a 10 por ciento de este valor. A veces también se incluyen ceniza volante o escoria de alto horno granulada y molida. Es esencial una alta dosis de superplastificador a fin de reducir el contenido de agua en un 45 a 75 l / m<sup>3</sup> de concreto. El superplastificador debe ser compatible con el cemento portland real empleado. De este modo, se logra una a/c muy baja; siempre por debajo de 0.35, con frecuencia alrededor de 0.25 y ocasionalmente inclusive de 0.20. Para que no exista ninguna preocupación de que tal concreto, aunque sea bien curado, contenga una proporción significativa de cemento portland no hidratado, déjenme decirles que tales remanentes de cemento pueden verse como partículas muy finas de "agregado" que están extremadamente bien adheridas a la pasta de cemento hidráulico. Esta situación contribuye a la baja penetrabilidad.

## **Conclusiones**

Este artículo no ha presentado más que un panorama muy general, pero espero que haya ilustrado tanto las amplias ramificaciones de la durabilidad de las estructuras de concreto, como su enorme importancia. En esencia, para asegurar una durabilidad adecuada, debemos seleccionar una mezcla apropiada de concreto; esto requiere un conocimiento actualizado de la disponibilidad de los materiales cementantes que producen con frecuencia los llamados concretos de alto comportamiento. No importa cuán buena sea la mezcla, el concreto en la estructura será bueno solamente si todas las operaciones del colado han sido bien realizadas. Esto puede lograrse sólo con un alto nivel de supervisión. Por supuesto, la

estructura tiene que estar apropiadamente diseñada, no sólo desde el punto de vista de la resistencia, sino también con respecto a la exposición a las condiciones locales y al microclima. No importa lo bien que esto se haga, los caprichos de las operaciones y las circunstancias, a veces completamente inesperadas, pueden tener un efecto adverso en la durabilidad. Por esta razón, y también debido a la misma naturaleza del concreto, es esencial que las estructuras estén sujetas a un mantenimiento sistemático. Esforcémonos por proveer concreto verdaderamente durable en el futuro.

## **FOTOGRAFIA**

El agua de mar puede inducir corrosión del refuerzo, como es evidente en este rompeolas del Caribe.

Adam Neville, Miembro Honorario del ACI, es árbitro y consultor, con residencia en Londres, Inglaterra. Es conocido internacionalmente por sus contribuciones a la literatura del concreto; y su libro, *Propiedades del concreto*, se publicó recientemente en su cuarta edición en Estados Unidos, Inglaterra, Francia y Brasil, y próximamente será publicado en español por el IMCYC. Es miembro del Comité 209 del ACI, Fluencia y Contracción, y del 214, Evaluación de Resultados de Pruebas.

Este artículo fue publicado en *Concrete International* y se reproduce con la autorización del American Concrete Institute. Las opiniones expresadas por el autor no son necesariamente las del ACI.



# El Antiguo templo de San Agustín

Isaura González Gottdiener  
Aldara Chaos Cadór



La vida de la vieja ciudad colonial se regía por el tañido de las campanas de la Catedral y de las muchas torres de sus iglesias. Las campanas anunciaban el perezoso amanecer con el toque melancólico de las Avemarías; llamaban nerviosas a las primeras misas; después alegres, a las fiestas titulares, y lánguidas a las 12, para comer; hora en que invariablemente se daba cuerda a los relojes y se sentaban todos a la mesa.

La historia de la ciudad de México se halla estrechamente asociada con las tres primeras órdenes religiosas establecidas en la Nueva España: los franciscanos, desde 1523, con la presencia de fray Pedro de Gante; los dominicos, desde 1526, y los agustinos, en 1523. Cuando llegaron a la ciudad para fundar sus casas escogieron los solares en los sitios principales.

Los edificios religiosos, hoy día semidestruídos, mutilados o arrasados, formaron parte importante de la vida de la capital, dieron una fisonomía a la ciudad y, en algunos casos, enriquecieron su nomenclatura. De todos ellos ninguno se encuentra completo.

## Fundación y avatares del antiguo templo

Fueron los conventos de la orden de San Agustín de los más suntuosos que se levantaron en la Nueva España. El arte plateresco floreció en ellos de una manera no igualada por otras órdenes religiosas. Como no tenían la limitación del voto de pobreza de los franciscanos y la Corte los ayudaba ampliamente en sus tareas, pudieron realizar obras verdaderamente soberbias.

El 7 de junio de 1533 llegaron a México siete religiosos de la orden agustiniana. Bajo la advocación del Santísimo Nombre de Jesús se hospedaron en Santo Domingo hasta que tomaron posesión de un terreno donado que llevaba el nombre de Zoquiapán, que significa "el lodo", por la consistencia

### Resumen:

Después de casi cinco siglos de vida y una historia accidentada, este conjunto arquitectónico que hoy está bajo custodia de la UNAM se halla en vísperas del inicio de trabajos de nivelación estructural que buscan contrarrestar las diferencias en la velocidad de hundimiento de los suelos de la zona.

"Del tropel acudieron las memorias, los gustos, los favores; que a veces los lugares son historia" Lope de Vega (terceto de una de sus famosas epístolas)

pantanosas del suelo, a la que se debió que la primitiva iglesia se hundiera repetidas veces, si hemos de creer al no siempre verídico Fray Tomás Cage, quien refiere que en 1625 reconstruían la iglesia por tercera vez poniendo los cimientos sobre las antiguas columnas hundidas.

La primera piedra de San Agustín fue puesta el 28 de agosto de 1541 por el virrey Antonio de Mendoza. La iglesia y el convento resultaron muy suntuosos; el arquitecto de la obra hacia 1567 fue Claudio de Arciniega. En 1587 fue concluida y su retablo mayor fue obra de Andrés de la Concha; las puertas de madera que daban a la calle se labraron en 1591, siendo sus autores Pedro López Pinto y Hernán Sánchez.

Por los diálogos de Cervantes de Salazar sabemos que en 1544 aún no estaba terminado el templo; que ostentaba un alfarje mudéjar de casetones, el cual descansaba sobre arcos de piedra, y que a los lados del templo se construían capillas para servir de entierro a la nobleza. El convento ofrecía su claustro con bóvedas de casetones y existían dos dormitorios con numerosas celdas igualmente abovedadas.

Un incendio en la época colonial era un acontecimiento que ponía en agitación y alarma a todos los habitantes de la ciudad de México, alarma y agitación sólo comparables a las que padecían los mismos habitantes por un tumulto, una inundación, un terremoto. Las campanas de las iglesias y conventos cercanos al lugar del incendio anunciaban con toques lúgubres el fuego. Los vecinos que andaban por las calles contiguas corrían apresuradamente hacia el sitio donde las llamas se levantaban, a fin de prestar auxilio o de permanecer como simples curiosos espectadores.

En diciembre de 1576 se incendiaron la iglesia y parte del convento, estando celebrándose las vísperas de la fiesta de la virgen de Guadalupe. Se salvaron algunos colaterales y pinturas -entre otras la Santa Cecilia de De la Concha, hoy en la Pinacoteca Virreinal- y gracias a don Juan de Chavarría se rescató la magnífica custodia.

Con gran actividad reconstruyeron los agustinos su iglesia, que quedó concluida y se estrenó el 14 de diciembre de 1692, siendo esta nueva fábrica de estilo y planta diferentes de la antigua, y techada de bóveda. Fue sin duda para esta iglesia, levantada a finales del siglo XVII, para la que se talló la

magnífica sillería del coro, en madera de nogal, que hoy puede admirarse en el salón del generalito del Antiguo Colegio de San Ildefonso.

En esta etapa participaron fray Diego de Valverde, maestro de arquitectura, y Tomás Juárez, escultor y ensamblador, autor del retablo mayor. La iglesia estuvo adornada con retablos de Blas de los Ángeles, Miguel José de Rivera, Juan de Rojas y José Joaquín de Sáyago, autor del colateral de la Capilla del Tercer Orden en 1752.

Nacionalizado el convento de San Agustín por los hombres de la reforma, permaneció varios años abandonado e inundado, hasta que se decidió adaptarlo para la Biblioteca Nacional. El bello claustro fue mutilado y, si se conserva un fragmento, es por un milagro, ya que a lo que falta, así como a varias dependencias del convento, actualmente los sustituye un estacionamiento. El proyecto de la Biblioteca Nacional estuvo a cargo de los arquitectos Vicente Heredia y Eleuterio Méndez. Se suprimieron las torres, se agregaron nuevas fachadas, ventanales y estatuas.

### **El problema de los suelos del Centro Histórico**

La Universidad Nacional Autónoma de México tiene bajo su custodia el antiguo templo de San Agustín y la Capilla del tercer Orden desde 1929. Construidos sobre el fangoso subsuelo de lo que hoy conocemos como el centro histórico, estas joyas de la arquitectura novohispana sufren un grave deterioro estructural ocasionado por los hundimientos diferenciales característicos en esta zona de la ciudad, que se han visto drásticamente incrementados en la segunda mitad del presente siglo a causa de la sobreexplotación de los mantos acuíferos. En 1952 las labores se suspendieron debido al mal estado del edificio, cuyas obras de reparación comenzaron en 1954 para que fuera reinaugurado en 1963.

Las diversas etapas de construcción del recinto agustiniano son clara muestra de la problemática que implica desde tiempos inmemoriales edificar cualquier obra sobre el peculiar subsuelo del primer cuadro capitalino. La primera iglesia erigida por los monjes no permaneció en pie más de 13 años ya que los hundimientos obligaron a su clausura. La fábrica del segundo templo se inició en 1561 culminando 26 años después. "Para la

construcción del convento dice Cervantes de Salazar que los frailes tuvieron que bombear el agua para asentar luego grandes piedras con mezcla". Después del terrible incendio que lo consumiera irremediablemente, su reedificación se inició al año siguiente. En esta etapa probablemente sólo se renivelaron los muros y se reforzó la cimentación, como consta en el libro de control de gastos de los agustinos. Las calas hechas en la cimentación nos muestran que ésta se compone por una retícula de arcos de mampostería que descansan sobre estacones. También en ese tiempo se construyeron los muros que sirven como contrafuertes para poder colocar la bóveda que sustituyó a la antigua techumbre de madera que se perdiera irremediablemente en el incendio. Al envolver el templo, estos muros han actuado estructuralmente como cinturón de contrarresto y han impedido el derrumbe del edificio, que se comporta como un bloque. Este comportamiento estructural es explicado por el doctor Fernando López Carmona en su estudio para la corrección geométrica de la catedral metropolitana.

Desde 1983, la Dirección General de Obras de la UNAM, junto con TGC Geotecnia, inició trabajos de medición y sondeos en diversos puntos del otrora convento agustino para conocer el estado real en que se encontraba y así poder sentar las bases sobre las que se plantearían las diversas propuestas de reestructuración. Este proyecto es dirigido por el arquitecto Fernando Pineda, quien cuenta con la asesoría de destacados investigadores de la Facultad de Arquitectura y el Instituto de Ingeniería de la UNAM entre los que se encuentran el doctor Fernando López Carmona y el ingeniero Enrique Santoyo.

El problema de los hundimientos diferenciales es un denominador común para todos los edificios que conforman el centro histórico. Además del proceso de descenso natural, el subsuelo en que se encuentran desplantados posee partes duras y blandas compuestas tanto por restos de edificaciones que datan de la época precolombina como por rellenos de todo tipo puestos en las diversas etapas del período virreinal. Esto, aunado al abatimiento de la presión en el agua del suelo producido por la extracción de los mantos acuíferos profundos, ha ocasionado los problemas estructurales que afectan no sólo a San Agustín sino a muchos inmuebles más, ya que la existencia de estas zonas duras frena el descenso natural de los edificios en esos puntos, mientras que el resto continúa con otra velocidad poniendo en peligro su estabilidad estructural.

Para garantizar la permanencia de nuestros monumentos se han utilizado varias técnicas que van desde el uso de pilotes que toman contacto con la capa dura existente a más de 45 m de profundidad hasta la técnica de subexcavación que ha dado excelentes resultados en la catedral y sagrario metropolitanos. Sin embargo, estos sistemas tienen un alto costo que los convierte en una posibilidad poco viable.

Durante la reestructuración de la catedral y sagrario metropolitanos se ha efectuado un arduo proceso de investigación del que surgió un nuevo sistema para abatir los hundimientos diferenciales, el cual consiste en inyectar mortero en las zonas blandas del subsuelo para frenar su velocidad de descenso e igualarla a la de las zonas duras. Con esto se logra que el proceso de hundimiento de las construcciones sea uniforme, y en el caso de que existan diferencias de nivel en los elementos que conforman la estructura, éstos pueden irse reduciendo hasta retomar su condición original. Este sistema fue probado con éxito en un edificio perteneciente a la Facultad de Estudios Superiores, unidad Zaragoza, que se consideraba prácticamente perdido y hoy funciona bajo condiciones de absoluta seguridad.

### **Los trabajos que se realizarán en San Agustín**

El conjunto de lo que hoy conocemos como el Antiguo Templo de San Agustín se conforma de dos cuerpos: el templo y la capilla del Tercer Orden. Actualmente existe un desnivel de 2,400 mm entre las fachadas oriente y poniente, en una longitud de 50 m en el sentido transversal del edificio, que se ha producido debido a que la zona que ocupa la capilla del Tercer Orden ubicada en la esquina formada por las calles de República del Salvador e Isabel la Católica baja a una velocidad de 96 mm anuales, lo cual representa 16 mm más en relación con el promedio general de hundimiento regional que es del orden de 80 mm. La hipótesis plantea inyectar mortero en la primera capa arcillosa superior, que es responsable de 54 por ciento del total del hundimiento regional. Al abatir en este porcentaje el descenso de la zona blanda bajo la capilla, su velocidad disminuirá de 96 a 52 mm anuales, lo que representa una recuperación 36 mm por año. Con ello serán necesarios 66 años para abatir totalmente el desnivel existente de 2,400 mm. Durante ese tiempo, el conjunto continuará bajando conforme al hundimiento regional, sin afectar las construcciones

colindantes. La cantidad de mortero que se vaya a inyectar será directamente proporcional a las velocidades de hundimiento. Una vez realizada la primera etapa, vendrá un período de observación para analizar en qué zonas es necesario inyectar más mortero, llevándose con ello a cabo un proceso aditivo donde se requiera. Durante la realización de estos trabajos se colocará un tendido de protección al nivel de arranque de las bóvedas para que el templo no se cierre al público.

La aplicación de este proceso representa un costo de 40 por ciento de lo que se invertiría si se subexcavara o piloteara el templo de San Agustín, ya que no se requieren grandes obras de ingeniería. Una vez comprobada la eficacia de este método tanto en la FES Zaragoza como en la catedral metropolitana, toca ahora dar inicio a esta magna empresa cuyo proceso de vigilancia estará a cargo de la UNAM, con lo que esta institución demuestra una vez más su compromiso profesional y comparte su experiencia, la que debe ser aprovechada para rescatar tantos edificios más que se encuentran en similares circunstancias.



## Arenacreto, presente y futuro



El cemento portland mezclado con agua y agregados, o inclusive con tierra, se puede combinar de muchas maneras, desde suelo-cemento, hasta concreto con arena/grava y concreto de granos finos, es decir, mortero. El arenacreto no es una simple mezcla de cemento, agua y arena, sino una mezcla en la cual una combinación de cemento y relleno reemplaza al cemento simple. El relleno es un material inerte o casi inerte, o puzolánico, y su finura es del orden de magnitud de la finura del cemento, de 200 a 400  $m^2/kg$ . El contenido de cemento portland de tal mezcla no se diferencia grandemente del contenido usual de cemento  $C$  del concreto ordinario, variando de 300 a 400  $kg/m^3$ , pero sí se diferencia del contenido de cemento del mortero  $C'$ : de acuerdo a Faury:  $C' = C(D/D')^{0.20}$  con  $C = 300 kg/m^3$  para un concreto con grava (grava  $5/D$ ) con  $D = 20 mm$ , para un mortero con  $D' = 5.0 mm$ ,  $C' = 545 kg/m^3$ .<sup>1</sup> Con el arenacreto, una combinación de 300  $kg/m^3$  del mismo cemento y de 245  $kg/m^3$  del relleno producirá una mezcla de la misma consistencia, y si el relleno proporciona algún efecto cementante, la mezcla tendrá una resistencia casi equivalente a la del concreto de 300  $kg/m^3$  con grava de 0/20 mm.

### Resumen:

La conveniencia de utilizar los materiales existentes en la región para la fabricación del concreto es una de las razones que impulsan la experimentación de nuevas mezclas. Este artículo informa sobre algunos trabajos realizados en Francia con una combinación que aprovecha la arena y que, según el autor, tiene posibilidades de desarrollo.

### Antecedentes históricos

El primer ingeniero que utilizó concreto sin agregado grueso para estructuras altas fue probablemente François Coignet: en su torre del faro de Puerto Said, de 52 m de alto, construido en 1869, utilizó arena de playa, y la estructura aún está en servicio.<sup>2</sup> Después de la segunda guerra mundial, en la antigua URSS, en las vastas áreas donde sólo podía encontrarse arena, los pavimentos de carreteras y aeropuertos, y toda clase de construcciones, fueron reconstruidos con arenacreto.<sup>3</sup> En Francia, donde la extracción intensiva de arena y grava de los valles de los ríos es cada vez más limitada, se está desarrollando el empleo de la piedra triturada, pero en algunas regiones, existen sin utilizarse grandes depósitos de arena, particularmente en el sur de Burdeos. En 1968 se echó a andar un proyecto nacional de investigación bajo el nombre de

MATERLOC, con el objetivo de "usar de manera óptima los materiales locales". Una sección de este proyecto, bajo el nombre de SABLOCRETE, probó las arenas y las mezclas de cemento/relleno/arena de varios orígenes (arena de naturaleza y granulometría variadas; rellenos de piedra caliza triturada, cuarzo triturado, ceniza volante, escoria triturada) con y sin aditivos químicos, y, al final del programa de seis años, presentó sus conclusiones y recomendaciones en un libro de 237 páginas publicado en noviembre de 1994.<sup>4</sup>

### Diseño de mezclas de arenacreto

El método de diseño recomendado empieza con la ley de Caquot, que relaciona el contenido de vacíos de una combinación granular con su expansión, de  $d$  a  $D$  mm,:  $v = v (d/D)^{0.20}$ . Aplicando esta ley, donde  $D < 5.0$  mm y tomando en cuenta el número de pruebas, el contenido óptimo de finos de una mezcla de arenacreto, (finos = cemento  $V$  + relleno  $F$ ), es, por volumen, muy cercano a :  $(C = v) = 0.38 (0.08/D)^{0.20}$  para una arena de  $0.08/D$ . El correspondiente contenido de agua más aire atrapado está relacionado con una expansión más ancha de  $D$  a  $d$  de la combinación: cemento/relleno/arena ( $C/F/S$ ) por peso); para la finura usual de la combinación  $C/F$ ,  $d$  es cercano a 0.020 mm, pero cuando se utiliza una amplia variedad de aditivos reductores de agua,  $d$ , varía de 0.005 a 0.007 mm, inversamente proporcional a la finura media de la combinación  $C/F$  y a su peso específico.

Las mezclas del cuadro 1 han sido diseñadas con este método. La resistencia a la compresión a 28 días de cilindros de 16/32 cm, (o con mayor frecuencia de 11/22 cm), se ha calculado por medio de la fórmula de Féret:

$$E = v$$
$$f_c = 5R_c \left( 1 + \frac{v}{C + kF} - 3.15 \right)^2$$

donde  $R_c$  es la resistencia ISO del cemento portland de gravedad específica de  $3.15 \text{ g/cm}^3$ , y  $C$  y  $F$ , en  $\text{kg/m}^3$ , son el contenido de cemento y relleno (la diferencia entre el peso específico del cemento y del relleno se considera nula) con la resistencia promedio a 28 días del cemento, siendo igual a 55 MPa para el grado 42.5 y 65 MPa para el grado europeo de 52.5.

Es obvio, a partir de la figura 1(a), que los mejores resultados se obtienen con arena de río bien graduada, de 0.08 /5.0; sin embargo, la arena de duna (0.08/1.25) también se usa cuando no se dispone de las otras, pero con mezclas más ricas en cemento. Cuando puede conseguirse, resulta también más económico usar ceniza volante; (el factor de equivalencia cementante de  $FA$  para combinaciones de 60/40 es de aproximadamente 0.30 y, por la experiencia francesa, es de 0.15 o más, para combinaciones 60/40 de rellenos de piedra caliza.

La misma resistencia de 25 MPa se puede obtener con una mezcla de grava de 20 mm con el mismo cemento y el aditivo HRWR, con  $280 \text{ kg/m}^3$  de CEM 42.5 únicamente. Mientras se disponga de grava, inclusive a precios ligeramente más altos que la arena, en la actualidad las mezclas de arenacreto no son económicas para las necesidades usuales de construcción, salvo cuando se requieren propiedades especiales.

Cuando se "carguen" con grava, una relación de grava/(arena + grava)  $< 0.30$  preservará las propiedades especiales del arenacreto: se ha obtenido alta bombeabilidad, sin segregación, excelente relleno alrededor del refuerzo congestionado o en miembros de secciones delgadas,<sup>1</sup> excelente acababilidad, mayor resistencia y un módulo de elasticidad mayor. Tal fue el caso con las vigas de arenacreto pretensadas del proyecto habitacional de Burdeos-Mériadec [figura 1(b)].

### **Usos típicos del arenacreto: Colocación de concreto bajo el agua**

Se usaron exitosamente arenacretos de clases de resistencia de C15 a C25 MPa en el sudeste de Francia para reforzar las subestructuras de puentes de ríos o rompeolas de rocas.<sup>4</sup> Algo de los  $390,000 \text{ m}^3$  de tal mezcla se bombeó para llenar el intervalo circunferencial entre el extradós de los segmentos de

Transmanche y la parte francesa del túnel. La mezcla básica contenía, para los 1,200 kg/m<sup>3</sup> de arena de 0/4, 120 kg/m<sup>3</sup> de cemento portland, 50 kg/m<sup>3</sup> de cal hidráulica, y 230 kg/m<sup>3</sup> de ceniza volante, con varios aditivos químicos, siendo de solamente 5 MPa la resistencia requerida.<sup>5</sup> Pilas de concreto reforzado colado en el lugar para la calzada de un puente cerca de Lille: en vez de un concreto de grava convencional C25 MPa con 400 kg/m<sup>3</sup> de CEM 32.5, se colocó arenacreto: 1,440 kg/m<sup>3</sup> de piedra caliza triturada de 0.5, 370 kg/m<sup>3</sup> de cemento CEM 32.5 y 160 kg/m<sup>3</sup> de ceniza volante: la resistencia a 28 días obtenida fue de 36 MPa y el módulo de elasticidad de 24,000 MPa.<sup>6</sup>

### **Usos típicos: Bloques de defensa no reforzados**

Se está probando la durabilidad y la abrasión de los acrópodos en el nuevo rompeolas del puerto de Saint Denise d'Oléron: 12 acrópodos de arenacreto (figura 2) fueron colocados entre acrópodos de concreto convencional. Después de varios años de severa exposición a las olas, y al desplazamiento de arena, su comportamiento no es diferente al de los otros. Para 1,550 kg/m<sup>3</sup> de arena de playa de 0/2 mm (no lavada), había 350 kg/m<sup>3</sup> de cemento, 200 kg/m<sup>3</sup> de relleno de piedra caliza, 175 l/m<sup>3</sup> de agua total, 0.15 l de agente inclusor de aire y 9 l de aditivo HRWR. La resistencia de los corazones variaba de 29 a 32 MPa, con un peso específico de 2.22 a 2.19 t/m<sup>3</sup>. Comparado con el peso específico de 2.58 de los tetrapodos convencionales, usando roca triturada de 31.5 mm, y acrópodos de 2.20 t/m<sup>3</sup> para el rompeolas, hubiera llevado a la adopción de una pendiente más suave. Tales diseños son inaceptables si, como en el caso de la mayor parte de la costa del África Occidental, la roca sacada de las canteras tiene que ser importada, habiendo gran cantidad de arena de playa.<sup>7</sup>

### **Usos típicos: Losas secundarias de carreteras**

Durante el programa SABLOCRETE, se colaron siete franjas de 55/14.8 m de pistas de maniobras de un grosor de 0.20 m en el aeropuerto militar de Dijon, con arenacreto líquido cargado o descargado. La resistencia de los corazones a 28 días fue,

respectivamente, de 42 y de 34 MPa, y el módulo de elasticidad de 26.070 y 19.230 MPa. Ambas mezclas tenían un revenimiento de 20 cm. Las dos tenían aire incluido y estaban superplastificadas:

Cemento CEM 1 52.5 R kg/m<sup>3</sup> 300 300

Ceniza volante CARLING . 300 300

Arena de río 0/4 mm . 1,200 800

Arena silicosa 0/1 mm . 200 200

Grava de río de 4.14 mm / 400

Agua total l/m<sup>3</sup> 265 265

Densidad del arenacreto mojado kg/m<sup>3</sup>  
2,180 2,270<sup>4</sup>

### **Futuro del arenacreto**

La producción de agregados de concreto de depósitos aluviales cayó entre 1983 y 1993 del 62 al 51 por ciento de la producción total. Debido a las actuales restricciones sobre la mayor explotación de los lechos de los ríos, probablemente representará no más del 30 por ciento en el año 2003. La producción de agregados dragados del mar se está elevando, pero consiste principalmente en arena. Actualmente se ordena arenacreto sólo cuando sus propiedades especiales hacen que se considere necesario. Para concretos de resistencia media o baja, todavía no es económicamente atractivo, pero sí puede serlo en el futuro cercano. En el área de París, la tendencia es manifiesta: hace 20 años, la relación de arena/arena + grava) variaba de 0.35 a 0.40, y actualmente, la industria de concreto premezclado emplea relaciones de 0.50 a 0.60.

### **Referencias**

1. Stamenkovic, H., "Prevention and repair of voids around congested reinforcement", *ACI Journal*, enero-febrero de 1984.
2. Poitevin, P., "Sand concrete, yesterday and today", *FIP notes*, 1986-1982.
3. Chauvin, J.J., "Le béton de sable en Union Soviétique", *Bulletin de liaison des labos P. et Ch.* 174, julio-agosto de 1991, ref. 3589.
4. Billhouet, H. P. Delude y otros: *Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation*, Presses de l' ENPC, París, 1994.
- Poitevin, P., "Channel tunnel: concrete lining, segmental and non-segmental", *Int. Conf. Concrete across borders* Odensee, 1994.
6. Kittel, D., "Propriétés d'usage du béton de sable, béton de sable pour pieux d'ouvrages d'art, Laboratoire Régional Nord/Pas de Calais, 1991.
7. Projet National SABLOCRETE, "Expérimentation de blocs ACCROPODES en béton de sable, *Rapport*, 1991.

Cuadro 1. Mezclas teóricas de arenacreto (sin aire incluido). La resistencia a compresión a 28 días en cilindros de 11/22 cm: 25 MPa cuando se utiliza cemento portland de grado europeo igual a 42.5, 30 MPa con grado 52.5 (resistencia mínima a 28 días ISO), FL: relleno de piedra caliza (Blaine 250/350 m<sup>2</sup>/kg), FA: ceniza volante tipo F ASTM)

0/08/D mm arena, D: mm 1.25 2.5 R.0

Tipo de relleno FL FA FL FA FL FA

Contenido de cemento kg/m<sup>3</sup> 380 355 330 305 290 265

Contenido de relleno kg/m<sup>3</sup> 270 250 230 215 200 190

Contenido total de agua (l) 1/m<sup>3</sup> 237 237 206 206 180 180

Contenido de aire atrapado 1/m<sup>3</sup> 47 47 41 41 35 35

Contenido de arena seca  $\text{kg/m}^3$  1,315 1,315 1,490 1,490 1,640  
1,640

Densidad del arenacreto mojado  $\text{kg/m}^3$  2,200 2,155 2,260 2,220  
2,350 2,310

**(Pies de figuras:)**

Figura 1. Mezclas de arenacreto ordinario. Contenido de cemento portland en relación con el diámetro máximo de la arena.

(Textos interiores:)

(a) revenimiento

(b) c/relleno de piedra caliza 60/40 por volumen

(c) ceniza volante

(d) 60/40 por volumen

(e) mallas AFNOR

Figura 1(a) (b) Vigas presforzadas de arenacreto

Figura 2. Bloques de concreto para defensa contra el mar: acrópodos

Este artículo fue publicado en *FIP notes* y se reproduce con la autorización de la Fédération Internationale de la Précontrainte.



# Ciudad: de ayer al mañana

Isaura González Gottdiener

## De la ciudad a la megalópolis

Puesto que la ciudad es un fenómeno social, su evolución obedece a múltiples factores que la mayor parte de las veces superan cualquier planeación. A pesar de todos los intentos por regular el crecimiento urbano, la velocidad acelerada de éste - producto en gran parte de la exacerbada explosión demográfica que detonara a mediados del presente siglo- ha convertido a los pueblos en ciudades, a las ciudades en metrópolis y a las metrópolis en megalópolis.

Según cifras derivadas de estudios realizados por las Naciones Unidas, en el siglo venidero el planeta contará con más de 50 megalópolis antes de cumplirse la primera mitad de la centuria.

## Economía y territorio

Estas macrociudades se están conformando principalmente en Asia y en América, mientras que Europa reutiliza sus espacios evitando a toda costa el desbordamiento excesivo. En tanto que el Lejano Oriente proyecta sus ciudades hacia el cielo, los países americanos en vías de desarrollo continúan su crecimiento a ras de tierra, la mayor parte de las veces sin planeación alguna, dando por resultado aglomeraciones caóticas donde las fronteras entre casco urbano y periferia han sido engullidas por todo tipo de asentamientos que van desde cinturones de miseria hasta zonas de privilegio donde la élite se refugia de los avatares cotidianos.

La morfología de las ciudades tiene relación directa con la territorialidad y la economía de las naciones. Los países del Este asiático, carentes de suelo, edifican rascacielos cada vez más altos que a la vez son símbolos del poderío económico e hitos de la arquitectura del fin del milenio. Estados Unidos cede aparentemente el papel protagónico al Lejano Oriente, donde al pasar de los meses nuevas torres de cristal dan la cara al cielo buscado obtener su lugar en los anales de la historia de la humanidad. Símbolos de nuestra era, los espigados edificios corporativos o de vivienda son a la sociedad de fin de siglo lo que las catedrales a la de la Edad Media.



### Resumen:

El debate acerca de cómo será la ciudad del futuro es atemporal. Desde que el hombre es tal, la ciudad se ha reinventado ininidad de veces, tantas como han podido hacerlo el pensamiento y la imaginación humanos. Algunas ideas se han tomado materia mientras que otras quedan como acervo para alimentar nuevas abstracciones.

América Latina es el reverso de la moneda. Con una economía deprimida y tierra suficiente para seguir creciendo, las ciudades se expanden derramadas sobre terreno firme. Desde luego, los rascacielos son parte del paisaje urbano y constituyen símbolos de poderío, pero no conforman el total del perfil de la ciudad como en Asia sino que son elementos aislados en la horizontalidad predominante.

Otro factor que determina el crecimiento de las ciudades es el perfil de edades de su población. Asia y América tienen habitantes jóvenes en un porcentaje mayor, mientras que en Europa la pirámide de edades se ha invertido.

### **El caos**

La situación de caos que impera en las metrópolis de hoy se ha convertido en realidad cotidiana, tanto que, como describe Carlos Monsiváis, "la ciudad funciona de modo que a la mayoría le parece inexplicable, y cada quien extrae del caos las recompensas que en algo equilibran las sensaciones de vida invivible".

El fenómeno metropolitano es sujeto de estudio de variadas disciplinas que buscan los caminos para salir del caos. Una de las principales preguntas es hasta dónde seguirán siendo habitables las ciudades del futuro. Si serán capaces de mantener e incrementar los recursos básicos para la supervivencia humana. Si las que poseen una pesada carga cultural lograrán erradicar la nostalgia y si las gestadas en un corto plazo cobrarán identidad propia.

### **Nostalgia y modernidad**

Ante la imposibilidad de liberarnos de la noche a la mañana del caos, acuden a nuestra mente las remembranzas de las épocas de oro, cuando la ciudad (cualquiera que fuera) era promesa de una vida mejor. Las plazas y calles, ejes de la vida urbana, han sido sustituidas por los centros comerciales y las grandes avenidas; el espacio público se ha tornado masivo; los barrios multifuncionales se han fragmentado en zonas con funciones específicas: núcleos de vivienda separados de los núcleos de trabajo ligados por vías "rápidas" donde los embotellamientos son el paisaje diario.

La tesis de la ciudad moderna que tuviera en Le Corbusier su

principal promotor se ha propagado por el mundo entero rompiendo con el esquema del urbanismo típico del siglo XIX. La ciudad ya no se organiza alrededor de los espacios públicos, sino que es una sucesión de edificios autónomos que rechazan la calle. La vida urbana, que supone la reunión de personas en plazas y calles, se pierde sumergida en el paisaje apocalíptico de las metrópolis y estos espacios otrora comunes se recrean en escenografías dentro de parques de diversiones y zonas comerciales.

Y sin embargo, la ciudad antigua permanece y ha emergido del olvido para convertirse en pieza de museo que se exhibe como símbolo de identidad cultural. Lo es sin duda, pero no debe permanecer intacta como núcleo central de un pasado extinto sino renovarse desde dentro para ser parte del rompecabezas urbano donde actualmente se encuentra inmersa.

Rem Koolhaas afirma con razón que el pasado es demasiado pequeño para habitarlo. Desde su Oficina de Arquitectura Metropolitana busca comprender las megalópolis asiáticas que son ya una realidad presente. La ciudad genérica es la ciudad del futuro, libre de una identidad cerrada ya que carece de un centro tradicional. En Singapur, donde casi todo tiene menos de 30 años, esta realidad es aceptada con entusiasmo. Sin embargo, en contextos como Europa o Latinoamérica, donde el pasado constituye un símbolo de identidad, la negación de la ciudad histórica como núcleo urbano pareciera ser la negación de la ciudad misma, aunque ésta en realidad esté conformada por un mosaico multicultural de pequeños asentamientos que al ir creciendo se entrelazaron originando las grandes metrópolis.

## **Industria y tecnología**

Estas metrópolis, comunes a nuestros ojos, fueron en sus inicios producto de la revolución industrial. La emigración del campo, aunada al descenso de la mortandad gracias al avance de la ciencia, cambió radicalmente la vida humana durante el transcurso del ya casi extinto siglo XX.

El automóvil y la computadora son elementos indispensables de la vida moderna que han revolucionado el planeta. Existen hoy teorías donde se asevera que el ciberespacio será la nueva calle, la plaza de nuestras ciudades de crecimiento incontrolado. Ya en 1966 Arata Isozaki veía en la computación una herramienta para crear la ciudad virtual, el oasis de la

imaginación, la herramienta del ordenamiento. Mas en tanto somos materia, ocupamos un lugar en el espacio, por lo que la ciudad virtual es tan sólo un escape temporal, al menos por ahora.

### **La ciudad del futuro**

La ciudad del futuro puede ser la ciudad genérica de Rem Koolhaas, o la que en su caos visual deja espacios libres para crear áreas de sensatez, como plantea Frank Gehry. Puede ser el cúmulo de rascacielos; la recuperación de la historia o los cinturones de miseria; la escenografía de Disney ; la crudeza de la posguerra en Medio Oriente; la arrasada en Centroamérica por el huracán.

Mientras el hombre sea, existirán las ciudades y sobrevivirán, a pesar de las estadísticas en contra, de la escasez de agua, de la contaminación. "La crítica de la gran ciudad ñdice Jörg Albrecht- es tan antigua como la gran ciudad misma." Su estudio y planeación son una necesidad de autocomprensión humana ya que "la ciudad es la verdadera biografía de la humanidad" (Claude Levi-Strauss).



**25a. Conferencia Anual de la Sociedad Internacional de Ingenieros en Explosivos**

Del 7 al 10 de febrero de 1999 en el Opryland Hotel, Nashville, Tennessee, EUA

Informes: International Society of Explosives Engineers

Tel.: (440) 349-4004

Fax: (440) 349-3788

<http://www.isee.org>

---

**Coloquio sobre Cimentaciones para Mejores Puentes - Diseño y construcción**

Del 22 al 24 de febrero de 1999 en Nueva Delhi, India

Informes: New Delhi Colloquium Secretariat

Tel.: Int+91+11+3710358, +3782923

Fax: Int+91+11+3388132

---

**6a. Conferencia Internacional sobre Comercio, Transporte y Manejo del Cemento a través de Asia y la Costa del Pacífico**

17 y 18 de marzo de 1999 en Bangkok, Tailandia

Informes: INTERCEM Asia, Congrex House, Inglaterra

Tel.: +44-181-669 5222

Fax: +44-181-669 9926

E-mail: [info@intercem.co.uk](mailto:info@intercem.co.uk)

Internet: <http://www.netradecenter.com/intercem>

---

**Simposio Internacional sobre el Papel de los Aditivos en el Concreto de Alto Comportamiento**

Del 21 al 26 de marzo de 1999 en Monterrey, México

Informes: Dr. Ing. Raymundo Rivera Villarreal, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León

Tel.: +52 (8) 352-4969, 352-2748

Fax: +52 (8) 376-0477

E-mail: [rilem99@ccr.dsi.uanl.mx](mailto:rilem99@ccr.dsi.uanl.mx)

---

**7a. Conferencia Internacional sobre Carreteras de Bajo Volumen**

Del 23 al 27 de mayo de 1999 en Baton Rouge, Luisiana, Estados Unidos

Informes: Transportation Research Council, 2101 Constitution Avenue, NW, Washington, DC 20418, Estados Unidos

---

**Congreso Internacional de Corrosión y Protección Moscú '99 / Durabilidad y protección de las construcciones de la corrosión. Construcción y reconstrucción**

Informes: Dr. Stepanova V.F., International Congress Moscow-99, Organizing Committee

Tel.: (095) 171-43-74 y 174-75-80

Fax: (095) 171-43-74

---

**16o. Congreso Internacional BIMB '99**

Del 25 al 28 de mayo de 1999 en Venecia, Italia

Informes: ASSOBETON, Milán

Tel.: +39/2/70100168

Fax: +39/2/7490140

E-mail: [assobeton@galactica.it](mailto:assobeton@galactica.it)

---

**8a. Conferencia sobre la Durabilidad de Materiales de Construcción y Componentes /Vida en servicio y administración de activos: Hacia la integración de métodos de predicción de aplicación de la vida en servicio**

Del 30 de mayo al 3 de junio de 1999 en Vancouver, Canadá

Informes: Conference Secretariat 8dbmc, National Research Council Canada, Building M-19, Montreal Road, Ottawa, ON, Canada K1A 0R6

Fax: (613) 993-7250

---

**8a. Conferencia Internacional EXPERTCENTRUM / Predicción de la Vida y Administración de la Edad de las Estructuras de Concreto**

Del 5 al 7 de julio de 1999 en Bratislava, Eslovaquia

Informes: Profesor T. Jávora, EXPERTCENTRUM, Eslovaquia

Fax: xx421-7-5311738

---

**24a. Conferencia sobre Nuestro Mundo en las Estructuras y el Concreto**

El 25 y 26 de agosto de 1999 en Singapur

Informes:

Tel.: (65) 733-2922

Fax: (65) 235-3530

E-mail: [ci-premie@si.com.sgngnet](mailto:ci-premie@si.com.sgngnet)



## De libros, revistas y memorias

**El uso de ceniza volante o de humo de sílice para aumentar la resistencia del concreto a los ácidos de los alimentos**

**Anúnciese**

N. De Belie y otros

*Magazine of Concrete Research*, núm. 181, diciembre de 1997, 8 pp.

El concreto en casas de animales está sujeto a sustancias agresivas que provienen de alimentos y de estiércol. El ataque químico por los ácidos de alimentos más importantes, ácido láctico y acético, y la abrasión causada por animales y por la limpieza se simularon y se estudiaron mediante pruebas de corrosión acelerada. La disminución de volumen en función de porcentaje y la pérdida de masa por unidad de área fueron medidas, además del cambio de pH y de contenido de calcio de los líquidos. La adición de ceniza volante y, más aún, la adición de humo de sílice, ayudó a aumentar la resistencia del concreto a líquidos altamente agresivos.

---

**Fluencia por secado del concreto en función del método de módulo efectivo ajustado a la edad**

K. Kovler

*Magazine of concrete research*, núm. 181, diciembre de 1997, 7 pp.

Se demuestra que la deformación de fluencia por secado depende de los valores de los coeficientes de envejecimiento por fluencia básica y secado y (depende también) de los componentes individuales de la deformación del concreto; deformación instantánea, fluencia básica y contracción libre.

---

**Propuesta de zonificación sísmica para la ciudad de Tehuacán, Puebla**

E. Osorio Carrera, S. García Isidro y otros

*Memoria del XI Congreso Mexicano de Ingeniería Sísmica,*  
Veracruz, México, 1997

En este trabajo se describen los resultados de un estudio realizado sobre modelos estructurales de muros de relleno, con y sin huecos, y su implantación en un programa de análisis sísmico no lineal de estructuras para su aplicación a marcos de concreto reforzado, con y sin muros de mampostería, sometidos a cargas laterales debidas a la acción sísmica y/o del viento. Los resultados de modelos de elementos finitos y del programa de análisis no lineal se validan, en el rango lineal de comportamiento, empleando resultados experimentales y de programas alternativos de análisis.

---

### **Estudio de factibilidad y diseño del nuevo concreto sin finos (CSF)**

Ingeniero Ricardo Bustos

*Noticreto*, núm 47, abril-junio de 1998, 4 pp.

Existen tres formas básicas de lograr un concreto liviano; la primera es incluir aire en la mezcla por medio de aditivos y omitir el agregado grueso, obteniendo el concreto celular. La segunda es reemplazar los agregados de peso normal por agregados de peso liviano, y la última forma, al contrario de la primera, es omitir parcial o totalmente los agregados finos o partículas menores de 4.76 mm, creando de esta manera un mayor porcentaje de vacíos.

---

### **Los costos de la calidad en la industria**

Ingeniero Raúl Bermúdez Escudero

*Reunión Nacional e Internacional de analistas de costos de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Económica Financiera y de Costos*, julio de 1998, 3 pp.

El empresario mexicano se encuentra en la actualidad operando en un escenario configurado por una apertura económica y comercial que requiere un cambio profundo, tanto en la forma de conducir la empresa como en la actualización de sus medios de manufactura y control. En consecuencia, debe

comprender la situación y condiciones actuales para actuar razonadamente y adquirir la información técnica necesaria y suficiente para superar este reto. Si el empresario desea aspirar a un trato nacional e internacional adecuado, está obligado a emplear correctamente las herramientas administrativas y tecnológicas que aplican los países con los que se tienen relaciones comerciales.

---

### **Utilización de neumáticos troceados como combustible en un horno de clínker**

José Roda Martínez y Carlos Urcelay Gordobil

*Cemento Hormigón*, núm. 783, abril de 1998, 7 pp.

Como es sabido, la situación en Europa en relación con el aprovechamiento de materiales residuales como combustibles secundarios es bien distinta y está básicamente relacionada, desde el punto de vista social, con el apoyo de las administraciones de reciclaje o la valorización frente al vertido y desde el punto de vista técnico y económico, por entrar en competencia las instalaciones especializadas de incineración y la valorización de hornos de clínker, además de disponer de cauces establecidos para unos efectivos sistemas de recolección y selección de residuos.



## Nuevos productos y equipos



### Reducción del ataque de sulfatos al concreto

Cuando se utiliza *fly ash* con cemento que contiene un bajo aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) se produce un concreto de alta calidad, denso, de baja permeabilidad, con una relación agua / cemento menor, lo que proporciona menor permeabilidad y aumenta la densidad, con lo cual aumenta su resistencia al ataque de los sulfatos.

El ataque de sulfatos puede ocurrir cerca de canales, zonas costeras, plantas de tratamiento de aguas residuales o de drenaje. También cerca de las plantas químicas, torres de enfriamiento y mantos freáticos ricos en sulfatos debido al suelo. Los sulfatos están presentes en los fertilizantes y pueden así dañar jardineras y adornos adyacentes de concreto.

---

### Bandas flexibles para juntas de concreto

Las estructuras de concreto son tan a prueba de agua como las bandas flexibles que las unen. Las bandas flexibles Greenstreak detienen las filtraciones antes de que empiecen, en las juntas de las estructuras de concreto en las que un lado está sujeto a presión hidrostática.

Embebida en el concreto, a través y a lo largo de la junta, la banda forma un diafragma continuo a prueba de agua que previene el paso de fluidos a través de la junta en estructuras típicas de concreto como son estructuras de contención; presas, esclusas, canales, embalses de agua y acueductos; plantas de tratamiento de agua potable y aguas negras; alcantarillas y túneles; tanques de almacenamiento; losas de azotea y garajes de estacionamiento.

---

### ADAPT-DETAILS

ADAPT-DETAILS es una compilación de más de cien detalles estructurales típicos utilizados en la construcción con

postensado. Los detalles se pueden incorporar dentro de los dibujos de proyecto, ahorrando un tiempo valioso. Los detalles son aplicables a losas en una y dos direcciones, construcción de viga y losa en estructuras para estacionamientos, así como abertura de losas, franjas de cierre y losa sobre el terreno. Los detalles están integrados en formatos compatibles con AUTOCAD.

---

### **Compuesto para curado**

El compuesto para curado del concreto en emulsión de agua, basado en cera 1300-CLEAR de SEALTIGHT, cuando se lo aplica apropiadamente, da un sello impermeable que vuelve óptima la retención de agua. Se trata de un material verdaderamente de emulsión de agua que se ha producido en cumplimiento con los límites VOC para el control de la contaminación, en los recubrimientos arquitectónicos.

El compuesto para curado se emplea en las aplicaciones de concreto interiores y exteriores, horizontales o verticales, donde no se aplicarán subsecuentes tratamientos a la superficie.

---

### **Membrana de permeabilidad controlada**

Zemdrainâ sirve como un excelente medio para mejorar la superficie del concreto y así alargar la vida del mismo. La membrana se engrapa a una de las caras de la cimbra, en donde se encarga de drenar el exceso de aire y agua, así como de retener las partículas de cemento en la superficie de concreto. De esta manera se obtiene una superficie más densa y libre de burbujas de aire.

Esta membrana es ideal para la construcción de tanques de almacenamiento de agua, presas, columnas de puentes y general para cualquier estructura de concreto que se vea sometida a las más demandantes condiciones de uso.

Los principales beneficios que se obtienen con su empleo son:

- Una resistencia hasta cinco veces mayor en la



superficie del concreto

- Restricción al crecimiento de algas y bacterias en tanques de agua
- Reducción en la difusión de cloruros
- Eliminación de burbujas de aire en la superficie del concreto
- Muy bajos costos de instalación
- Excelente aumento en la vida útil de las estructuras de concreto
- Reducción en costos por mantenimiento
- Eliminación de terminados o tratamientos en la superficie de concreto

No hay necesidad de utilizar grasas para desprender la cimbra