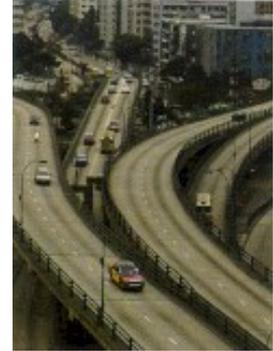




La construcción y los aspectos ambientales



M. en C. Gelda Lhamas Coelho

En las últimas décadas, las preocupaciones respecto al medio en que habita la humanidad han generado innumerables acercamientos a la cuestión, con propuestas que intentan no sólo una comprensión teórica de los problemas que hoy enfrentamos, sino también crear un aparato técnico-práctico con miras a la solución de dichos problemas.

En el caso específico de la construcción, también se ha dado el fenómeno de la aparición de propuestas teóricas y técnico-prácticas como intentos de comprensión y solución de los nuevos problemas que han ido surgiendo en el área. Llama la atención que en diversas publicaciones técnicas podemos encontrar propuestas que van desde las posibilidades de lograr un concreto ecológico¹ hasta aquellas que constituyen una guía de las más variadas técnicas alternativas para la construcción de una vivienda sustentable.

Anúnciese

Desde que la urbanización se volvió una tendencia dominante en las sociedades con el impulso de la industrialización, se revolucionaron las técnicas constructivas, creció la explotación irracional de la naturaleza y se inició un proceso que condujo a las ciudades actuales, cuestionadas por insustentables. Esta reflexión

Sin embargo, la comprensión misma de la problemática ambiental que nos aqueja queda sesgada en las implicaciones ecológicas que derivan de dicha problemática. Por esta razón, lo que se pretende en este artículo es presentar algunas reflexiones de carácter ambiental que tengan como referencia la construcción y su participación en la transformación de la naturaleza, en aras de hacer de ésta una segunda naturaleza más acorde con las necesidades sociales, y las implicaciones de estas transformaciones para la sociedad y la misma naturaleza.

La construcción del hábitat humano y sus implicaciones ambientales

La construcción del hábitat humano se da prácticamente en concomitancia con la evolución de la especie humana pues, muy tempranamente, el ser que daría origen a lo que hoy somos empezó a buscar formas de hábitat que diferían mucho del hábitat de las otras especies animales.

Esto se debe a la práctica cognoscitiva del hombre, que va aprendiendo de la naturaleza sus leyes y empieza a aplicarlas, a ponerlas en práctica, para la construcción de su hábitat. Así, las pieles de animales, el lodo, la madera, fueron algunos de los materiales utilizados por el hombre para la construcción de su vivienda cuando aparecieron las primeras aglomeraciones humanas.

En el principio de la historia, este proceso de conocer las leyes de la naturaleza y ponerlas en práctica era algo que reconocidamente daba tiempo a aquella para recuperarse de los impactos sufridos, incorporando a sí misma los cambios que le eran impuestos. Sin embargo, hace ya milenios que la dinámica de aprendizaje y utilización de estas leyes por el hombre supera en mucho la dinámica de la naturaleza. Esta tendencia a rebasar la dinámica de

de la autora da pie a la propuesta de crear nuevas opciones a partir de una perspectiva integradora que incluya los diversos aspectos del problema.



los tiempos de generación y regeneración de la naturaleza y las repercusiones de esto en la sociedad es lo que hoy conocemos como un problema ambiental.²

El hábitat humano no está exento de problemas ambientales. Muy por el contrario, la humanidad se ha tornado una sociedad marcadamente urbana y esta característica ha implicado una cada vez mayor apropiación de la naturaleza, in natura o ya creada por el hombre, para que la sociedad pueda sustentarse como tal.³

Así las cosas, el hábitat urbano del hombre, caracterizado por las viviendas, las calles, las áreas de esparcimiento, los más diversos sistemas de transportación de gente, energía y comunicación, ha demandado el desarrollo cada vez más acelerado de técnicas constructivas que a su vez requieren la utilización de nuevos materiales.

Se puede afirmar que esta aceleración tiene como antecedente más cercano la revolución industrial que surgió en Inglaterra a finales del siglo XVIII y que se definió como la forma más urbana de desarrollo social, principalmente porque la manufactura de los productos de consumo quedó independiente de las fuentes de energía y de materia prima.

Por supuesto que las ciudades que recibieron las industrias fueron escenario de toda suerte de problemas. Son bastante conocidas las precarias condiciones de salubridad de los barrios donde vivían los obreros londinenses y la contaminación del aire y del río de la ciudad de Londres en el primer siglo de la revolución industrial.

La percepción de estos problemas determinó que



empezaran a llevarse a cabo muchas propuestas para su solución, entre ellas, las que tenían fundamentación religiosa y cristalizaron en las ciudades para obreros diseñadas y construidas por Owen. Otras propuestas, como el utilitarismo de Bentham, buscaron una planificación urbana más moderna, acorde con las tendencias del desarrollo que se estaba dando y, en este sentido, plasmaron una gran masa legislativa en constante aumento sobre saneamiento, provisión de agua, pavimentación, alumbrado, caminos y calles, ferrocarriles, control de humo y emanaciones, vivienda y alojamiento en general.⁴

Para muchos, la ciudad quedó supeditada al despotismo de la producción, y la fusión del capital industrial y el financiero pasó a incidir sobre las manifestaciones superestructurales de la sociedad, entre ellas el urbanismo y la arquitectura, lo que determinó la aparición de movimientos de vanguardia a finales del siglo XIX e inicios del XX, como fue el cubismo, que tuvo gran influencia en el racionalismo arquitectónico de Gropius, fundador de la Bauhaus, en la obra de Le Corbusier y en el constructivismo ruso.⁵

Queda así prefigurada la nueva fisonomía urbana, con la arquitectura comercial que impone un diseño racionalizador, un modelo con miras a mejorar la estructura y la funcionalidad de las ciudades y que prevé la utilización de los nuevos materiales industrializados. El acero y el concreto, en combinación con las vidrieras, pasan a formar parte de las múltiples innovaciones constructivas, símbolos de un patrón económico en plena expansión e influencia rectora de un estilo constructivo que se desplaza por las ciudades en todo el mundo.



Este modelo racionalizador de construcción de la ciudad es muy criticado porque muchas veces conlleva la destrucción de un pasado urbano de valor extraordinario que se encuentra en el casco antiguo de la misma.⁶ Sin embargo, en términos ambientales, se puede afirmar que el problema tiene muchas otras connotaciones, pues desde el momento mismo de la explotación de la materia prima que se emplea para la producción del acero y de otros materiales que se utilizan en la construcción civil, por ejemplo el cemento, la problemática ambiental se dinamiza.

Es el caso, entre otros, de la explotación del mineral de hierro para la producción del acero. Pese a la moderna tecnología existente, dicha explotación continúa practicándose de una manera que degrada el ambiente, porque la sociedad aún no ha desarrollado técnicas que utilicen en un cien por ciento los desechos. Así, el destino de éstos es casi siempre contaminar los suelos y las aguas, incluso de áreas que se encuentran a muchos kilómetros de distancia del lugar de explotación.

A todo esto hay que añadir que la materia prima de la mayor parte de los materiales que se utilizan en la construcción se encuentra en los llamados países subdesarrollados. Estos países han vivido bajo la presión de un constante y siempre creciente endeudamiento con los organismos internacionales de desarrollo, tales como el Fondo Monetario Internacional (FMI), y utilizan en gran medida las ganancias que obtienen de la venta de sus materias primas para el pago de la deuda, lo que demanda una siempre creciente explotación de las mismas. Además, la mayoría de los países subdesarrollados suele no contar con las nuevas técnicas de explotación generadas en los países del primer mundo, lo que por ende agudiza aún más su problemática ambiental, con

repercusiones de carácter globalizador.

Las normas y técnicas constructivas y las catástrofes ambientales

Como ya se señaló, la sociedad contemporánea es marcadamente urbana, y las nuevas técnicas de construcción tienen un papel preponderante en la materialización de este hábitat.

Así las cosas, la normalización del acero por medio de pruebas de resistencia a los más diferentes tipos de tensión y las mezclas cemento-agregados con miras a un concreto más resistente y duradero se utilizan en alguna medida en la construcción de las viviendas, en los edificios de oficinas, en las líneas de suministro de agua y energía, etc., lo que nos hace considerar que el acero y el concreto se han adueñado del espacio urbano.

Empero, las normas y las técnicas constructivas no son utilizadas por la sociedad de la misma manera, y son muchas las razones de este fenómeno. Si, por un lado, el acero y el concreto se emplean en la estructura de los llamados edificios inteligentes, generalmente ubicados en las áreas nobles de la ciudad y resistentes a prácticamente todos los fenómenos naturales, por otro lado, los utilizan también los gobiernos en la construcción de vivienda popular, así como la propia población marginada de los ámbitos urbanos, la que generalmente se ubica en áreas de mayor riesgo, donde el mismo suelo no es apropiado para cualquier tipo de construcción.

Con esto, el acero y el concreto han estado presentes en las llamadas catástrofes ambientales, que se han hecho frecuentes en todo el mundo. Aunque sea casi imposible predecir, por ejemplo, la manifestación de un sismo, si las técnicas constructivas se utilizan bien, con



miras a responder de manera positiva al impacto sísmico, las proporciones de los desastres son menores. Todo lo contrario ocurre cuando las especificaciones técnicas se dejan a un lado para atender otros intereses.

Sin embargo, el sismo de 1994 en Kobe, Japón, fue una prueba contundente de que la sociedad aún no logra conocer las implicaciones de un sismo en su totalidad, porque, aunque las estructuras de dicha ciudad estuvieran dimensionadas para resistir sismos de mayor intensidad, el desplazamiento de la fuerza dinámica en el sistema agua-arena que se dio en el subsuelo fue más potente que el esperado y logró colapsar incluso superestructuras tales como la de los viaductos y la del metro de dicha ciudad.⁷

Por su lado, la serie de sismos que sufrió Turquía a finales de 1999 puso en evidencia que la mala utilización de las técnicas constructivas puede generar catástrofes de grandes proporciones, con pérdida de vidas humanas y de la misma estructura de las ciudades. En este caso específico, la construcción de conjuntos habitacionales populares no siguió las especificaciones técnicas mínimas necesarias, con los empresarios de la construcción ahorrando en las mezclas cemento-agregados y en la utilización de varillas de acero, aun a sabiendas de que estaban construyendo en un área sujeta a la actividad sísmica.⁸

Otros fenómenos naturales recientes también ponen en evidencia la presencia del concreto y del acero en la vida cotidiana de la humanidad. Un buen ejemplo son las intensas lluvias registradas en varios países, las que han hecho necesario abrir las presas que suministran agua y energía para evitar su colapso estructural, dando lugar con ello a la inundación de grandes áreas, habitadas o no. Esto pone en evidencia el hecho de que la utilización de las

tecnologías que dan soporte a la conformación del hábitat urbano ya se ubica mucho más allá de los límites físicos de las ciudades.

Además, los huracanes se han incrementado en intensidad y número, mostrando la fragilidad constructiva de muchas áreas del planeta y, de manera increíble, la ausencia misma de ciertas estructuras en las que los nuevos materiales y tecnologías de construcción deberían estar presentes. Se hace referencia a la falta de infraestructura en alcantarillado y suministro de agua que se vio en muchos países durante el paso de los huracanes por su territorio.

A todo esto hay que añadir que la humanidad ha logrado habitar mucho más allá de lo que convencionalmente llamamos suelo. Un buen ejemplo de esto es Holanda, un país que históricamente ha desarrollado las más variadas técnicas constructivas para ganar espacio al mar. La aparición de estas técnicas ha propiciado un avance trascendente de la presión social en zonas marinas, ya sea construyendo allí viviendas, áreas de esparcimiento, puentes y muelles, o creando acceso a zonas de gran fragilidad ecosistémica consideradas como una solución parcial al efecto invernadero emanado de los cambios climáticos que hoy enfrentamos en el nivel global,⁹ como son las áreas que contienen arrecifes coralinos.

Hacia una construcción con visión integradora

Así las cosas, las tecnologías constructivas del hábitat humano han estado contribuyendo para que el desarrollo urbano sea, hoy por hoy, puesto en tela de juicio, a partir de la comprensión de que las ciudades contemporáneas son insustentables,¹⁰ ya



que se van apropiando de todo, incluso de la temperatura del planeta. Decimos esto porque, entre otros hechos, la abrumadora verticalización de las construcciones, sumada a la presencia de las industrias en las ciudades, han dado cabida dentro del espacio urbano a las famosas islas de calentamiento que contribuyen al aumento de la temperatura en el nivel global.

Este contexto de complejidad, propio del mismo desarrollo de la humanidad en su relación con la naturaleza, exige pensar y trabajar en la construcción civil de una manera más integradora, más allá de la simple conformación de normas y procedimientos técnicos que aíslan las construcciones de su medio, incluso del humano, pues, como ya se señaló, no toda la sociedad logra participar de dichas construcciones y sus innovaciones tecnológicas, como lo demuestra la carencia de viviendas en todo el mundo.

Sin embargo, esta no es una tarea fácil, y mucho menos debe ser llevada a cabo por un sujeto individual. Mas bien, es una tarea colectiva en la búsqueda de una aportación que desde el principio tenga una visión integral de la realidad que se está trabajando.

Con esto se buscan alternativas a la utopía de la sustentabilidad ecológica que se ha planteado en las últimas décadas, la cual crea estructuras que defienden el retorno a estilos ya superados de desarrollo, también en lo relativo a desarrollo urbano.

Lo que aquí se plantea es justamente la creación de alternativas a partir del estilo propio de desarrollo socioeconómico y de las necesidades básicas y creadas que emanan de cada sociedad, reconociendo a la vez que la misma naturaleza ha estado cambiando, de una manera

tal que cada día se torna más difícil aprender de ella.

Si la problemática ambiental que hoy vivimos llama a la conformación de alternativas, no podemos desaprovechar esta oportunidad para que, cuando la naturaleza responda a las intervenciones del hombre, no lo haga de una manera que anule los resultados favorables ya obtenidos por la humanidad, entre otros, el de poder construir su hábitat.

Referencias

1. Jacobs, F., «Hacia un concreto ecológico», Construcción y Tecnología, febrero de 2000, pp. 11-19.
2. Miranda Vera, C.E., Filosofía y medio ambiente. Una aproximación teórica, México, Ediciones Taller Abierto, 1997.
3. Lhamas Coelho, G., Lo urbano en la relación medio ambiente-desarrollo, México, Ediciones Taller Abierto, 1999.
4. Everslay, D., El planificador y la sociedad. Rol cambiante de una profesión, España, Instituto de Administración Local, Col. Nuevo urbanismo, 1976.
5. Trujillo, S., La Bauhaus, sin referencia bibliográfica.
6. Chueca Goitia, F., Breve historia del urbanismo, España, Editorial Alianza, 1982.
7. Artículos publicados en diversos periódicos y revistas.
8. Artículos publicados en diversos periódicos y revistas.
9. Mauvois, R., «Proyecto sobre protección, utilización racional y desarrollo biológico de los arrecifes de coral de la región del Mar Caribe», México, PIMADI / IPN, 1995.
10. Stren, R., Sustainable cities / Urbanization and the environment in the international perspective, EUA, Wetview Press, 1992.



Gelda Lhamas Coelho es ingeniera civil, se graduó de maestra en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado en el Instituto Politécnico Nacional y actualmente cursa el doctorado en Ciencias Ambientales en la Universidad Autónoma de Puebla.

**Instituto Mexicano del Cemento y del
Concreto, A.C.**
Revista Construcción y Tecnología
Noviembre 2000
Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



Cómo prolongar la vida de las reparaciones de concreto



Jay H. Paul

El costo de las reparaciones de estructuras de concreto de gran altura y de rampas de estacionamientos puede ser enorme. Un presupuesto típico para un proyecto podría ser de cientos de miles de dólares, y podría llegar inclusive a millones. Sin embargo, un programa de reparación no está completo si no considera un sistema de protección.

Aunque los resultados de un programa de reparación son fáciles de ver para los propietarios, los beneficios de un sistema de protección pueden ser algo difícil de vender. Después de gastar tan grandes sumas en reparaciones, no es de extrañar que, en general, los propietarios se muestren renuentes a gastar todavía más dinero para proteger esa inversión. Un propietario puede preguntar: ¿Por qué, si el programa de reparación es tan exitoso, voy a necesitar proteger las reparaciones?

¿Por qué proteger las reparaciones?

Si se pretende que una reparación de concreto sea duradera, es preciso >protegerla; aunque ello incremente el costo de la obra, a la larga es más redituable. La información que aquí presentamos sobre los principales sistemas de protección que existen incluye también los aspectos que hay que tomar en cuenta para escoger uno y los requisitos de aplicación

En la mayoría de las circunstancias, las reparaciones de concreto tienen una vida finita. Así pues, la primera razón para un sistema de protección es la de extender la vida de tales reparaciones. Si carece de él, un propietario puede verse en la necesidad de reparar la estructura nuevamente, mucho antes de que lo que se hubiera previsto.

La verdad estriba en que es difícil, si no imposible, en el caso de las reparaciones, cambiar realmente las condiciones que conducen al deterioro del concreto. Los sistemas de protección están diseñados para mejorar el rendimiento de las reparaciones moderando las causas subyacentes del deterioro del concreto. Un beneficio adicional es que algunos sistemas de protección enmascaran las reparaciones y pueden mejorar las apariencias.

Métodos de protección

Existen muchos métodos y, ciertamente, una multitud de productos disponibles para proteger el concreto. El objetivo es reducir la corrosión de los metales en el concreto y los problemas relacionados, así como mejorar las características de la matriz de concreto que causan varios tipos de deterioro. Esto se logra por lo regular limitando la intrusión de humedad, cloruros, dióxido de carbono y otros contaminantes dentro del sustrato de concreto, por medio de tratamientos de superficie o principios electroquímicos. Los sistemas protectores también incluyen materiales y métodos que incrementan la capacidad de la superficie de concreto para resistir abrasión, impacto u otras influencias perjudiciales.¹

A continuación, se presenta una visión general de diversos sistemas disponibles para proteger el concreto, junto con una breve descripción de

las características de cada uno.

Tratamiento de superficie

Durante años, los tratamientos de superficie han sido el método más común de protección. El objetivo de un tratamiento de superficie es limitar la corrosión reduciendo al mínimo el agua libre en los capilares del concreto. Al mismo tiempo, los tratamientos de superficie evitan que emigre más humedad (y la intrusión de cloruros para los estacionamientos o los tableros de puentes) a través de las grietas, y que alcance el refuerzo.

Esta es la clasificación general para tratamientos de superficie que se utiliza en la “Guía de Reparación del Concreto (ACI 546.R-96)»:

- I Selladores penetrantes: generalmente por debajo de la superficie
- I Selladores de superficie: hasta 250 mm
- I Recubrimientos multicapas: de 250 a 760 mm
- I Membranas: de 760 mm a 6.25 mm, yI Sobrecubiertas: más de 6.25 mm.

Selladores penetrantes

Por definición, los selladores penetrantes están dentro del subes-trato del concreto. La profundidad de penetración varía según el producto, las propiedades del concreto, la existencia de contaminantes y, en cierta medida, la preparación de la superficie.

Los selladores penetrantes no están sometidos a abrasión, generalmente no se degradan debido a la exposición a rayos ultravioleta (UV), no puentean las grietas no movibles y no alteran apreciablemente la apariencia. No ocultan las reparaciones de concreto ni detienen la penetración de agua a través de las grietas. Debido a que estos productos están por debajo

de la superficie de concreto, son excelentes para usarse en tableros de estacionamientos. Con frecuencia se utilizan en combinación con recubrimientos para mejorar la durabilidad.

En este grupo se incluyen también: aceite de linaza hervida, silanos, siloxanos, inhibidores de corrosión migrantes, ciertos epóxicos y metacrilatos de alto peso molecular. Debido a que la mayor parte de estos productos tiene como propósito reducir la humedad, y por lo tanto la intrusión de cloruros, ellos pueden reducir o retardar el comienzo de la corrosión futura y la degradación por congelación y deshielo. El especificador debe verificar las emisiones del compuesto volátil orgánico (volatile organic compound = VOC) con el fabricante, ya que esto podría ser un problema en algunas aplicaciones.

Selladores de superficie y recubrimientos multicapas

Dependiendo de su aplicación, existen muchos productos que podrían clasificarse como selladores de superficie (grosor de la película seca de 250 μ m o menos), o como un recubrimiento multicapas de 250 a 760 μ m de grosor de película seca. Los selladores de superficie se usan para proteger plataformas y superficies verticales. Debido a que las reparaciones del concreto y las manchas pueden reflejarse a través de ellas, un recubrimiento multicapas podría ser más apropiado allí donde la apariencia es un criterio más importante, como en el caso de las fachadas. Muchos de estos productos impermeabilizan efectivamente la superficie.

Algunos fabricantes de elastoméricos tienen datos que indican que sus productos proporcionan buena resistencia anticarbonatación que podría ser benéfica cuando el recubrimiento del concreto sobre el refuerzo es

insuficiente. En muchos casos, la permeabilidad al agua y al vapor son parámetros importantes para la selección del producto. Aunque la mayoría de los elastómeros no puentean las grietas móviles, pueden ser efectivos en puentear grietas no móviles. Sin embargo, existen algunos recubrimientos elastoméricos que puentean pequeñas grietas móviles si están apropiadamente detalladas.

En este grupo se incluyen epóxicos, poliuretanos, metil metacrilatos, uretanos curados en húmedo, resinas acrílicas, ciertas pinturas (a base de aceite y látex) y elastómeros de silicón a base de agua. La selección de un producto individual puede depender de su capacidad para respirar (o en algunos casos para actuar como una barrera de vapor), así como para proporcionar resistencia suficiente a la penetración de agua. Muchos de estos productos se ven afectados por los rayos UV y se desgastan bajo la abrasión de la superficie. La resistencia al derrape puede verse reducida, a menos que se fortifique con un agregado apropiado.

Membranas

Las membranas generalmente se aplican a la superficie del concreto para aplicaciones horizontales. Éstas alteran significativamente la apariencia del concreto, pueden puentear pequeñas grietas móviles y ocultan la mayoría de las reparaciones. Con la introducción de agregados apropiados, las membranas proporcionan adecuada resistencia a la abrasión y durabilidad cuando se requiere.

Debido a que efectivamente reducen la introducción de humedad y de cloruros en el concreto, el comienzo de la corrosión futura puede retrasarse significativamente. Cuando está expuesto directamente a la intemperie, la degradación por radiación UV es un problema

potencial. Debido a las regulaciones del compuesto volátil orgánico, la mayoría de los fabricantes han desarrollado productos con pocas, o sin, emisiones. Sin embargo, casi en todos los casos, no tienen un largo historial del uso en servicio.

En esta categoría están incluidos los uretanos, acrílicos, epóxicos, neoprenos, cemento, concreto polímero, ciertos metil metacrilatos y productos asfálticos.

Se requiere mantenimiento frecuente de las membranas expuestas, especialmente en estructuras de estacionamientos, aunque generalmente no es costoso. Existen membranas disponibles que son autocurables y que serían de gran beneficio por debajo de sobrecubiertas soterradas.

Evite situaciones en las que el concreto esté encapsulado con membranas no respirantes en cada lado. En general, las membranas ofrecen buenas propiedades de elongación y excelente permeabilidad al agua, pero únicamente permeabilidad marginal al vapor. Las membranas encima de losas sobre rasante o en situaciones donde existe un impulso de vapor desde abajo deben aplicarse con la mayor precaución. Ha habido casos en que algunas membranas no son compatibles con ciertos productos patentados para la reparación del concreto.

Sobrecubiertas

Las sobrecubiertas generalmente están adheridas al concreto y agregan un peso proporcional a su espesor, que se debe considerar en el análisis de las estructuras existentes. Puede agregarse refuerzo adicional. Si se instalan para actuar de manera compuesta con la estructura existente, las sobrecubiertas pueden incrementar la resistencia.

Las sobrecubiertas pueden ser formuladas para reducir la introducción de humedad, mejorar la durabilidad y la resistencia a la corrosión, así como para evitar la intrusión de cloruros. Muchos de los productos disponibles están reforzados con fibras para reducir la contracción plástica.

Debido al espesor adicional, la sobrecubierta no ofrece la oportunidad de mejorar el drenaje. Aunque las sobrecubiertas inicialmente puentean las grietas, las grietas en movimiento pueden reflejarse a través de ellas. Con mucha frecuencia, las sobrecubiertas se usan para resaltar la apariencia y son muy efectivas para ocultar las reparaciones que cubren. En esta categoría se incluyen formulaciones para concreto de bajo revenimiento, concreto polimerizado, epóxicos, ciertos metil metacrilatos y concreto modificado con polímeros.

Para sobrecubiertas adheridas, es mejor seleccionar un producto que tenga propiedades similares al concreto viejo para reducir al mínimo problemas de compatibilidad. Debido a que muchos de estos productos son cementantes, pueden evitarse fácilmente los problemas de permeabilidad al vapor. Los productos que contienen epóxicos y polímeros deben ser evaluados en cuanto a la degradación potencial por UV.

Protección catódica

El concepto detrás de este método de control de la corrosión es convertir en catódico el refuerzo ahogado –en oposición al anódico en el que ocurre corrosión–. El acero de refuerzo está eléctricamente conectado a un metal sacrificial que se convierte en ánodo. Esto puede hacerse con energía eléctrica (sistema de corriente impresa) o sin energía (sistema pasivo).

Existen varios tipos de sistemas de protección catódica disponibles.² La diferencia principal entre unos y otros es el sistema de ánodo y su uso. La protección catódica no reemplaza el refuerzo corroído. Tienen que realizarse todavía todas las reparaciones estructurales requeridas.

Actualmente no se recomienda la protección catódica para el concreto presforzado debido a que éste podría volverse frágil con el hidrógeno de los aceros de alta resistencia. Si en la estructura hay refuerzo revestido de epóxicos, debe realizarse una determinación de la continuidad eléctrica para establecer si sería efectiva la protección catódica.

La protección catódica solamente está dirigida al control de la corrosión futura. Habrá que usar otras técnicas en cuestiones tales como apariencia, durabilidad y comportamiento del concreto reparado.

A diferencia de algunas técnicas y productos que ahora están entrando en el mercado, la protección catódica se ha usado en una u otra forma durante años. Los pilares de puentes se encuentran entre las primeras aplicaciones. La mayoría de los fabricantes pueden proporcionar, al menos, un registro parcial de aplicaciones similares que ahora se utilizan comúnmente.

Inhibidores de corrosión

Se están desarrollando nuevas tecnologías para aumentar o mejorar el arsenal de los sistemas de protección. Entre tales productos se encuentran los inhibidores de corrosión, que se agregan al concreto. Los inhibidores de corrosión sirven para complementar la capacidad natural del concreto para proteger el refuerzo ahogado, formando una capa de óxido pasivante en el acero. Esto ocurrirá normalmente cuando la alcalinidad del concreto se mantenga a un pH de aproximadamente 12.

El producto más comúnmente usado contiene nitrito de calcio. La cantidad que se agrega al concreto se basa en los cloruros anticipados a los que el concreto estará expuesto durante un periodo dado de tiempo. Después de haberse empleado exitosamente durante aproximadamente 20 años, este producto es apropiado para usarse en reemplazos completos de losas, así como en sobrecubiertas de concreto para tableros de puentes y plataformas de estructuras de estacionamientos.

Recientemente se ha introducido una nueva generación de productos (con dos diferentes composiciones químicas). Éstos se aplican a la superficie del concreto existente y están diseñados para migrar hacia el refuerzo ahogado a fin de protegerlo contra la corrosión futura. Estos productos se conocen generalmente como inhibidores migratorios contra corrosión o MCI (migrating corrosion inhibitors).

Un producto basado en la tecnología del nitrito de calcio trabaja de la misma manera que el aditivo que ya está en uso. El otro es una combinación a base de agua de surfactantes y aminosales. El fabricante asegura que emigra como un vapor a través del concreto para formar una película protectora delgada monomolecular sobre el acero de refuerzo. Ellos aseguran que los químicos inhibidores de corrosión pueden emigrar hasta 40 mm en 24 días.³

Extensas pruebas han indicado que ambos productos son efectivos para reducir las tasas de corrosión en el concreto contaminado con cloruros.⁴ Sin embargo, todavía es demasiado pronto para asegurar los beneficios totales que pueden lograrse al incorporar los MCI como parte del sistema de protección. Si en realidad prueban ser efectivos, ellos podrían resolver el problema de "halo" (véase la foto en la página 15).

Factores en la selección de la protección

Así como uno evalúa la causa del problema antes de seleccionar una técnica de reparación, los requisitos para cada proyecto deben ser determinados y cuidadosamente evaluados antes de seleccionar un sistema de protección. Aunque podrían ser adecuados varios sistemas diferentes, los parámetros que son únicos para una estructura particular podrían hacer más atractivo un sistema que otro. Las implicaciones que un sistema pudiera tener sobre un proyecto particular, incluyendo el potencial de falla y mantenimiento futuro, necesitan ser tomadas en cuenta antes de la selección. Los factores que deben considerarse incluyen:

Historial del sistema

Cierto número de nuevos sistemas para la protección del concreto casi no tiene un historial de servicio. Aunque los resultados de prueba pudieran ser alentadores, la mayoría de los ingenieros y propietarios se muestran renuentes a incorporar tales sistemas en sus proyectos. Sin embargo, existen circunstancias en que los problemas son tan agudos que únicamente la nueva tecnología podría ser la respuesta. Es crucial que el propietario esté consciente de los riesgos. El ingeniero debe obtener el total consentimiento del propietario para cualquier riesgo que sea aceptable en relación con el uso de un sistema sin un historial demasiado largo.

Costos iniciales y de largo plazo

El costo es un factor que un propietario no puede ignorar; la mayor parte de los sistemas protectores tiene costos de mantenimiento junto con costos iniciales (por ejemplo, los selladores y pinturas necesitan ser reemplazados, los sistemas de protección catódica deben monitorearse y ciertos componentes se tienen que reemplazar).

En algunos casos, el costo inicial puede parecer muy alto. Sin embargo, cuando se evalúan sobre el ciclo de vida del método, su uso en un proyecto de reparación puede ser muy competitivo. Además, si el tiempo fuera de servicio de una estructura es una consideración importante, el alto costo inicial de un método que extienda el uso de la instalación sin interrupción para reparaciones futuras del concreto bien puede valer la pena.

Apariencia final

Al igual que con el programa de reparación mismo, los propietarios necesitan saber directa y claramente lo que están comprando; en otras palabras, ¿cómo se verá? La localización de una reparación puede ser de cierta preocupación cuando se consideran varios sistemas de protección.

Los ingenieros deben también ver a largo plazo. Ellos necesitan preguntar: ¿Qué aspecto tendrá el sistema después que haya estado en el lugar algunos años ? ¿Existen factores ambientales que afecten la manera en que un sistema de protección se comporta a lo largo de los años?

Acatamiento de las condiciones del compuesto volátil orgánico

Para propósitos regulatorios, la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency = EPA) define un compuesto volátil orgánico como “cualquier compuesto de carbono, excluyendo el monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, cloruros o carbonatos metálicos y amonio, que participa en las acciones fotoquímicas atmosféricas”. El cumplimiento de las regulaciones actuales del VOC es un factor importante que se debe considerar al seleccionar un sistema de protección.

Existen dos preocupaciones con relación a los VOC: 1) los fuertes olores desagradables de los productos a base de solventes que se emiten son un problema en espacios interiores escasamente ventilados, y 2) la reacción fotoquímica entre óxidos de nitrógeno y VOC que produce ozono.

Desafortunadamente, muchos de los productos en los que han confiado los ingenieros en el pasado ya no se encuentran disponibles en sus formulaciones originales. Para satisfacer las regulaciones de varios estados que tienen tales leyes se han introducido en el mercado productos con bajo VOC. Las últimas versiones de algunos de estos productos realmente no tienen un historial aceptable. Una vez más es de importancia crítica que el propietario entienda este dilema.

Desde 1991, la EPA, la industria de los recubrimientos y las agencias gubernamentales han estado tratando de alcanzar acuerdos mutuos sobre la limitación de emisiones de VOC para toda la nación. El objetivo de estas tratativas es establecer alguna consistencia que permita a los especificadores comparar los productos y las afirmaciones hechas por los diversos fabricantes.⁵

Compatibilidad

Es muy importante revisar la condición de la superficie al considerar cualquier sistema de protección. Muchos de los productos patentados comúnmente utilizados en las reparaciones podrían tener una química no compatible con los recubrimientos o selladores especificados para usarse sobre ellos. Así pues, el potencial para problemas de compatibilidad debe investigarse nuevamente. Antes de empezar un trabajo de producción, el sistema seleccionado debe probarse en el sitio de la obra.

Además, la eficacia de los selladores penetrantes se ve grandemente influida por la presencia de selladores o recubrimientos existentes. La mayoría de los fabricantes requieren la aprobación de un sustrato del recubrimiento antes de extender una garantía. La remoción de los recubrimientos existentes es muy costosa, a veces sólo se requiere una remoción parcial que podría dar como resultado ahorros significativos en los costos del proyecto.

Durabilidad/comportamiento

Al evaluar un sistema de protección, el ingeniero debe determinar las expectativas del propietario respecto a la vida del sistema de reparación. Entre otros factores que hay que considerar, están las condiciones ambientales (exposición a lluvias impulsadas por el viento, variaciones de temperatura, lluvia ácida, exposición a dióxido de carbono, etc.), exposición a rayos UV, extensión y naturaleza del tránsito (para plataforma) y el uso de la estructura (los recipientes de agua potable tienen ciertos requisitos regulatorios).

Requisitos de aplicación

Antes de seleccionar un sistema de protección, especialmente los tratamientos de superficie, existe cierto número de condiciones básicas que necesitan ser satisfechas. Éstas incluyen:

I Las reparaciones de concreto deben curarse (usualmente 28 días después de completarse).
Nota: los fabricantes de algunos productos afirman que pueden instalarse en superficies húmedas y en un tiempo considerablemente menor a 28 días.

I Las superficies deben estar secas y sanas. La preparación de la superficie debe implementarse de acuerdo con las recomendaciones del fa-

bricante.

I Las superficies deben ser relativamente lisas cuando utilicen membranas aplicadas en forma líquida.

I Deben considerarse las condiciones de ventilación y la humedad al seleccionar los productos.

I Deben considerarse las limitaciones de temperatura durante la instalación al programar el trabajo.

No siempre existen las condiciones ideales.

La elección de un sistema de protección puede ser influida más por las condiciones de instalación que por otros factores. Por ejemplo, habría que seleccionar productos con una baja emisión de VOC para emplearse en espacios interiores pobremente ventilados, a fin de satisfacer las regulaciones actuales. Sin embargo, este método podría ser más costoso y podría no tener el historial de los productos tradicionales que el ingeniero probablemente ha utilizado exitosamente en el pasado.

Otro ejemplo de las influencias que afectan la elección de un recubrimiento sobre una exposición exterior podría ser las limitaciones de las bajas temperaturas. Quizás el programa de trabajo indique que sea necesario aplicar el recubrimiento final en el otoño. Un factor como éste, que tenga un potencial para un efecto significativo sobre el éxito del proyecto, debería tener prioridad sobre otros parámetros.

Resumen

Los sistemas de protección del concreto son una parte necesaria y valiosa de cualquier programa exitoso de reparación. Gracias a la tecnología mejorada, así como a las

regulaciones gubernamentales, las técnicas están cambiando. El especificador debe estar actualizado con los más recientes desarrollos y evaluar cuidadosamente los productos a la luz de cada proyecto individual. Solamente entonces podrá extenderse la vida útil de las reparaciones y el propietario podrá lograr beneficios en los costos.

Referencias

1. ACI Committee 546, Concrete Repair Guide (ACI 546R-96), cap. 4, "Protection Systems", sección 4.1, American Concrete Institute, Detroit, 1996, 26 pp.
2. Ibid, sección 4.3.
3. McGovern, M., "A New Weapon Against Corrosion", Concrete Repair Digest, junio/julio de 1994.
4. Strategic Highway Research Program, "Concrete Bridge Protection and Rehabilitation: Chemical and Physical Techniques", Contract C 1031, Washington, D.C.
5. Factor, D., "A New Weapon Against Corrosion", Concrete Repair Digest, junio/julio de 1994.

Jay H Paul es responsable del grupo de ingenieros de restauración de Klein y Hoffman, Inc., Chicago, y es miembro de los Comités del ACI 546, Reparación del Concreto, y 515, Sistemas de Protección para el Concreto.

Este artículo fue publicado en Concrete International y se reproduce con la autorización del American Concrete Institute.

**Instituto Mexicano del Cemento y del
Concreto, A.C.**
Revista Construcción y Tecnología

Noviembre 2000
Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



Concreto 2000

Seminarios Internacionales, Expo-Concreto 2000 y Tecno-demos

Aquí! 



Los días 6, 7 y 8 de septiembre se desarrollaron los Seminarios Internacionales sobre Evaluación, Rehabilitación y Reparación de Pavimentos y Estructuras de Concreto, organizados por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. La sede fue el Hotel Royal Pedregal de la ciudad de México, a cuyas instalaciones acudió un numeroso grupo de personas interesadas en aprovechar la oportunidad de actualizar sus conocimientos con reconocidos especialistas de México y otros países.

Paralelamente, tuvo lugar la Expo-Concreto 2000, una muestra de

Paralelamente, tuvo lugar la Expo Concreto 2000, una muestra de productos y servicios relacionados con la industria del concreto, la cual fue visitada tanto por los participantes de los seminarios como por el público que llegó con el objeto de ver lo que exhibían las empresas del ramo.

También, como es tradicional en los encuentros que organiza el IMCYC, se realizaron los Tecno-demos, una actividad que siempre constituye un centro de atracción para los asistentes.

La ceremonia de inauguración

El arquitecto Jorge García Bernardini, en su calidad de maestro de ceremonias, hizo la presentación de los integrantes del presidium, a saber: el licenciado Luis Martínez Argüello, presidente del IMCYC y director de Proyectos Especiales de Cementos Mexicanos (Cemex); el ingeniero Daniel Méndez de la Peña, consejero del IMCYC y director general de Concretos Premezclados del Grupo Cementos Chihuahua (GCC); el ingeniero Pedro Carranza Andresen, consejero del IMCYC y director de la división Concreto del Grupo Corporación Moctezuma; el arquitecto Heraclio Esqueda Huidobro, director general del IMCYC; el ingeniero Marcos Ramírez Rivera, gerente técnico de ventas del CGC; el arquitecto Franco Bucio Mújica, director técnico del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), y el arquitecto Thomas Battles, presidente de Precasted Prestressed Concrete Institute (PCI).

El arquitecto Heraclio Esqueda Huidobro fue quien pronunció las palabras de bienvenida. Agradeció la presencia de los asistentes y se refirió a la importancia de los temas que se tratarían en los seminarios. Fijó la posición del Instituto al decir que en él se «sigue abogando por la calidad de los materiales, de los procesos y de las personas; es algo de lo que no podemos sustraernos ya que la globalización nos está llevando a límites de competencia en todos los campos. Ya no podemos seguir siendo iguales, no podemos seguir improvisando, y eso lo estamos viendo en ejemplos que se presentan día a día en las obras». Fue categórico al afirmar: «Calidad del producto, calidad del proceso y calidad de la persona: si no se logra unificar estos tres criterios, la calidad es prácticamente imposible».

Luego de expresar conceptos elogiosos sobre los profesores invitados para impartir los seminarios, se refirió a una de las actividades recientes del IMCYC a la cual atribuye especial trascendencia: el diplomado sobre Tecnología del Concreto en Internet.

«Sentimos la satisfacción de ser la primera institución, no sé si me atreva a decirlo, internacional, que lanza un diplomado sobre tecnología del concreto en Internet. Hace dos semanas lo iniciamos, la primera generación en el nivel internacional. Ya tenemos alumnos de Sudamérica inscritos en esta primera actividad que hemos llamado Educación sin Fronteras IMCYC 2000.

»Es un diplomado que está fundamentado en una estructura modular con valor a curriculum, para que se pueda ir avanzando por materias. Es toda una aventura hacia un futuro promisorio a la que hemos dedicado gran parte del tiempo. El comité de enseñanza del Instituto ha trabajado arduamente en la elaboración de un mapa curricular para este diplomado.

»Los estudiantes que lo cursan comienzan con un módulo inicial para el desarrollo de habilidades para el aprendizaje a distancia a través de Internet; pasan luego a un módulo que se llama tronco común, donde se estudian las materias esenciales del concreto, y posteriormente tienen opciones de especialidades; especialidad en pavimentos, en construcción y en estructuras.»

Hizo una invitación a los asistentes a participar en este tipo de programas, y también en los comités de trabajo de las diferentes especialidades que se manejan en el Instituto: el de enseñanza o actividades educativas, el de tecnología del concreto y el de pavimentos, comités que existen dentro del programa de membresías.

Anunció el próximo lanzamiento de un libro sobre carreteras, elaborado en otro de los comités del Instituto por gente muy especializada y connotada. Lo conforman cuatro capítulos –dijo–, que tratan los temas de Proyecto, Construcción, Evaluación y Mantenimiento.

Terminó con un llamado a la colaboración: «En estas actividades

quisiéramos contar más con el apoyo y la participación de ustedes, que están interesados en estas áreas del concreto. No me resta más que invitarlos a participar activamente con el Instituto y a seguir muy de cerca todas estas actividades que consideramos nos seguirán manteniendo a la vanguardia de los institutos hispanoamericanos del cemento y del concreto. Muchas gracias.»

La entrega de la certificación ISO 9002

Una vez finalizado el mensaje del arquitecto Esqueda Huidobro, el arquitecto Franco Bucio Mújica, en representación del ONNCCE, hizo entrega a las autoridades del IMCYC del certificado de sistema de calidad de la norma ENX 004-1995, equivalente a la ISO 9002, al que el Instituto se hizo acreedor luego de un largo proceso de cumplimentación de requisitos sobre el cual informamos en nuestra edición anterior.

El arquitecto Bucio Mújica acompañó la entrega de la certificación con estas palabras:

«Me gustaría hacer algún comentario sobre qué es ISO 9000; quizá es lo que nos estamos preguntando antes que nada, qué son estas normas mexicanas equivalentes a esta serie de la ISO 9000. Como ustedes saben, estamos viviendo en un mundo globalizado y la apertura comercial nos ha puesto en la necesidad de competir, no sólo en nuestro país con empresas semejantes, sino que estamos y debemos competir en el nivel internacional con todas nuestras similares. Nos encontramos entonces inmersos en la competencia y debemos ser competitivos, poner en evidencia que somos realmente consistentes en lo que hacemos, que en verdad sabemos hacer nuestros productos, los productos y servicios que ofrecemos. Esto, por supuesto, significa el compromiso de las empresas proveedoras de bienes y servicios de hacer su trabajo cada vez mejor. Esta norma de referencia de modelo de aseguramiento de calidad pone las primeras bases, pero también genera en la empresa un compromiso de mejora continua que beneficia a la vez a sus clientes, a todos los usuarios de algún producto o servicio, los que pueden a su vez exigirle a esas empresas tal compromiso de consistencia, de mejora continua.

«De esta manera, el programa que representa el Organismo

«De esta manera, el organismo que represento, el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, acreditado en el marco de la ley federal sobre metrología y normalización de nuestro país –y reconocido entonces por el gobierno federal–, hace entrega de este documento que evidencia el serio compromiso del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Muchas felicidades.»

A continuación, el licenciado Luis Martínez Argüello pronunció un breve mensaje:

«Creo que lo único que puedo decir es que me siento sumamente orgulloso de los alcances que ha tenido el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, sobre todo en estos dos temas que se han tratado. Por un lado, la certificación ISO 9002, que nos permitirá empezar también a hacer un mejor trabajo para todos ustedes. Yo quiero felicitar a todos los integrantes del Instituto, a todos los que laboramos allí de una u otra manera, por el gran esfuerzo realizado para obtener este documento de certificación que nos apoyará en nuestro trabajo diario. Por otro lado, el haber alcanzado ya nuestro programa de Educación sin Fronteras, que era muy necesario en la era de la información y del conocimiento. El IMCYC siempre se ha distinguido por avances de este tipo, y siendo la carretera de la información, no podíamos dejar una carretera sin que fuera de concreto. Yo agradezco también y felicito mucho a Heraclio y a todo el personal del Instituto por esto. Quiero también agradecer a todos ustedes y decirles que espero que aprovechen este curso, un seminario muy interesante de nivel internacional al que seguramente se le sacará mucho provecho, como siempre ocurre con los seminarios del IMCYC. Muchísimas gracias por su asistencia.»

La Expo-Concreto 2000

Al término de sus palabras, el licenciado Martínez Argüello pidió al licenciado Pedro Carranza Andresen que tuviera la amabilidad de proceder a inaugurar la exposición y formuló una invitación a los miembros del presidium y a los asistentes para hacer un recorrido por la muestra.

Con interés, ellos visitaron el área de exhibición donde las empresas presentaban lo más relevante de sus productos y servicios. Allí, compañías nacionales y extranjeras compartían el espacio que les brindara Concreto 2000 para establecer contacto directo con los profesionales de la construcción interesados en conocer los últimos desarrollos.

Estuvieron en calidad de expositores AMIC, Boral Material Technologies, Cemex, Distribuidora de Fibras para la Construcción, Dow Corning de México, Dramix by Bekaert Corp, Elvec, Equipos de Ensaye y Control, Eucomex, Fester, Geo-Productos Mexicanos, IMCYC, La Cruz Azul, Lafarge, MBT México, Ram International, Svedala Dynapac y W R Meadows.

Durante los días en que se desarrollaron las actividades, los stands no dejaron de recibir la visita de un público que aprovechó la oportunidad de observar lo que las empresas ofrecían.

Los Seminarios Internacionales

En total fueron diez los seminarios que se impartieron durante los tres días que duró el Congreso. El primero tuvo como tema «El papel del supervisor en la construcción de estructuras de concreto durables», y estuvo a cargo del profesor Bertold Weinberg, de Estados Unidos. El segundo trató sobre «Nuevas tendencias en el diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico» siendo el expositor el profesor Shiraz Tayabji, también de Estados Unidos. Luego siguió el tema «Presente y futuro de las estructuras prefabricadas de concreto para viaductos elevados», desarrollado por el profesor José María Rioboó Martín, de México. Sobre «Construcción de pavimentos de concreto con concreto reciclado» expuso el profesor Mark B. Snyder, de Estados Unidos. «Reparación y rehabilitación de pavimentos de concreto» tuvo como responsable al profesor Shiraz Tayabji. El seminario de «Protección de las estructuras de concreto reforzado contra la corrosión» fue impartido por el profesor David Whitmore, de Canadá. Sobre «Diseño de pavimentos de concreto por los métodos AASHTO y PCA con el uso de software» expuso el profesor Hugo Guerrero, de México. «Durabilidad y protección de las estructuras de concreto en exposiciones severas con aplicaciones de cementos y agregados aluminosos» estuvo a cargo del profesor Augusto C.

Abduche, de Brasil. Otro tema fue «Construcción de bases para pavimentos con asfalto reciclado y estabilizado con cemento portland», desarrollado por el profesor Jan R. Prusinski, de Estados Unidos. Y por último, «Software para el diseño de mezclas por durabilidad» fue compartido por los profesores Daniel Dámazo y Roberto Uribe, ambos de México.

Para expresar en pocas palabras lo que fueron y lo que significaron los seminarios, podríamos decirlo así: una actividad muy intensa que concentró la atención de los participantes en temas realmente importantes para quienes se dedican de manera profesional a la construcción con concreto; una excelente oportunidad para actualizar conocimientos, discutir problemas, intercambiar ideas y despejar dudas; un verdadero privilegio de poder hacerlo bajo la conducción de especialistas reconocidos en cada tema.

Los tecno-demos

Esperados como siempre, los tecno-demos se realizaron oportunamente, uno cada día. En el primero se hizo una demostración de concreto autocompactado, es decir, un concreto que no requiere vibrado y que garantiza la homogeneidad y la adecuada consolidación en el elemento, mejorando la durabilidad y la calidad de las construcciones. Fue presentado por el ingeniero Guillermo Cervantes Vásquez, investigador del área de Tecnología del Concreto en el Centro de Tecnología del Concreto de Cemex.

El segundo mostró los trabajos para la elaboración de un mortero de vida prolongada, un producto diseñado para permanecer en estado plástico de 12 a 36 horas, listo para ser usado en la obra sin adicionarle agua y cal, suministrado por unidades revolventoras y que alcanza resistencias a la compresión de hasta 200 kg / cm². Tiene la ventaja de evitar el almacenaje de grandes cantidades de arena, cal, cemento y / o mortero en la obra, reducir desperdicios y disminuir costos de producción. El ingeniero Sergio García, gerente técnico de Concretos Cruz Azul fue quien tuvo a su cargo la presentación.

En el último tecno-demo se preparó un concreto de rápido desarrollo de resistencia, un producto que reduce al mínimo el tiempo de ejecución de una obra. Entre sus características se encuentran la baja contracción y baja permeabilidad, la resistencia a los sulfatos y el no contener cloruros. La presentación la hizo la ingeniera Patricia Contreras, investigadora del área de Tecnología del Concreto en el Centro de Tecnología del Concreto de Cemex.

Quienes deseen adquirir el contenido expuesto en los seminarios pueden solicitarlo al licenciado Rogelio LIC. JAVIER MARTINEZ MARTINEZ

COORDINADOR DEL CENTRO DE DOCUMENTACION DEL INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO

TEL DIRECTO: 53225752

TEL: 5322- 5740 ext. 212

FAX: 53225745

y correo electrónico: biblioteca@imcyc.com.

El momento de los reconocimientos

En el transcurso de Concreto 2000 tuvo lugar la entrega de reconocimientos muy importantes. Uno fue la certificación de ISO 9002 al Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, sobre la que se informa en este artículo, y que fue entregada por el arquitecto Franco Bucio Mújica, director técnico del ONNCCE, al arquitecto Heraclio Esqueda Huidobro, director general del IMCYC.

Las otras distinciones, otorgadas por el Precast / Prestressed Concrete Institute en el marco de los PCI Awards 2000, y entregadas por su presidente, el arquitecto Thomas Batles, fueron para algunos participantes en la obra del tramo Elevado Metropolitano Línea B del Metro capitalino. Los recibieron el ingeniero José María Rioboó Martín, fundador y presidente del Grupo Rioboó, por el diseño; el ingeniero Francisco Delgado Terrazas, en nombre de la empresa Pretconcreto, que prefabricó, transportó y montó las traveses de las estaciones, y el ingeniero Daniel Ruiz Fernández, encargado de Obras y Servicios del Departamento del Distrito Federal en el momento en que se contrató la obra, durante la anterior administración de la ciudad de México.

Hay que decir que el ingeniero Rioboó desarrolla una intensa actividad profesional, tanto en el ámbito gubernamental como empresarial, y también en el académico. Es miembro del Grupo de Asesores en Seguridad Estructural del Gobierno del Distrito Federal desde 1985 y director de los subcomités para la elaboración de las Normas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto y de la Norma Complementaria de Puentes. Es miembro del Comité Asesor de la División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y ha sido expositor técnico en diversos congresos nacionales e internacionales. Posee varias patentes en el campo de la ingeniería estructural y se ha

destacado por el diseño de más de 500,000 m² de puentes en el área metropolitana de la ciudad de México.

Momentos antes de recibir su premio, el ingeniero Rioboó pronunció una conferencia durante la cual revisó lo realizado en materia de puentes y viaductos urbanos elevados construidos con elementos prefabricados, y analizó la eficiencia lograda en los elementos estructurales de dichas obras. Luego explicó en detalle la solución dada a la línea B del Metro de la ciudad de México, motivo de la distinción del PCI.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
Revista Construcción y Tecnología
Noviembre 2000
Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)



Mortero de alto desempeño expuesto a un ambiente ácido



Diseño, predicción de vida útil y análisis de costo de ciclo de vida

Juan Carlos Escobedo Salazar y Jorge Gómez Domínguez

La presente investigación muestra el comportamiento desde el enfoque tecnológico, económico y ecológico del mortero de alto desempeño (MAD) mediante su aplicación propuesta en un piso industrial expuesto continuamente a un ambiente ácido, y teniendo como punto de comparación un sistema basado en loseta de barro, membrana antiácido y mortero de furán. Se efectúa el diseño de mezcla y la experimentación, que consiste principalmente en una prueba acelerada de resistencia química y una intensa observación en el microscopio electrónico de barrido. Se determina la correspondencia lineal entre la pérdida de peso del MAD por el ataque del ácido y el tiempo, lo que sirve como base para plantear un modelo de vida útil y del costo del ciclo de vida. Además, se simula la duración del MAD y se efectúa un análisis comparativo del costo del ciclo de vida con el sistema actual, donde se establece la gran ventaja económica del MAD. También se señala su superioridad en lo que respecta a la ecoeficiencia. Se establece un procedimiento para definir el comportamiento de los nuevos materiales de construcción dentro de tres enfoques del desarrollo sostenible, según una visión holística del problema, y que consta de la observación, experimentación, análisis

Aquí! 

En el marco de la búsqueda de una mayor durabilidad para las estructuras de concreto, y con el propósito de dar solución a un caso específico, esta investigación tuvo por objeto diseñar y fabricar un mortero de alto desempeño para responder a las exigencias de un ambiente altamente corrosivo. El análisis económico y de costo de ciclo de vida del material que se produjo mostró la conveniencia de su utilización.

microestructural, definición y predicción del comportamiento de la solución.

La necesidad de un concreto más durable

El concreto es el material fabricado por el hombre con más amplio uso, y el segundo después del agua como sustancia más consumida de forma intensa: se produce al año aproximadamente una tonelada de concreto para cada ser humano en el planeta.

Dentro de la comunidad de investigación en el ámbito internacional, se han desarrollado numerosos materiales y métodos destinados a las construcciones y reparaciones de estructuras de concreto. 1 También se han detectado ampliamente las condiciones que causan el deterioro de las estructuras de concreto, y a la vez se han determinado consecuentemente las características deseables del concreto para que tenga un comportamiento satisfactorio. 2 Inclusive, se ha estado promoviendo cada vez más la investigación en materia de concreto de alto desempeño, y se ha pedido en países altamente desarrollados el apoyo de los gobiernos para incrementar, intensificar y diseminar la investigación, desarrollo o uso del concreto de alto desempeño que, por sus características, vendría a dar solución a una serie de problemas que se presentan en las estructuras de concreto convencional por su escasa durabilidad, alto gasto de mantenimiento, en especial en obras de infraestructura, donde el deterioro genera serias pérdidas económicas. 3, 4 Hasta ahora, el enfoque económico dado al concreto de alto desempeño se ha limitado a los beneficios que trae consigo su alta resistencia, como es el ahorro derivado de la disminución de sección en los elementos estructurales, 5, 6 pero sin evaluar el ahorro que se tiene al emplear un concreto más durable. Tampoco se ha desarrollado de una manera sistemática el análisis sobre la inversión en la estructura de concreto y su rentabilidad en

su ciclo de vida.

El empleo del concreto de alto desempeño tiene muchas repercusiones en el ámbito de la construcción, incluyendo la industria de la fabricación del cemento y del concreto. La elaboración del concreto de alto desempeño no siempre puede efectuarse con los procedimientos tradicionales del concreto normal. La selección de los ingredientes es crítica porque requiere un conocimiento experto para establecer su eficiente compatibilidad tanto en la parte física como en la química.

La construcción en todo el mundo enfrenta problemas de diverso tipo, tales como la crisis energética, los recursos naturales limitados, la implementación de sistemas de protección al medio ambiente, los programas de apoyo al desarrollo sostenible y el uso coercitivo más eficiente y seguro de los materiales. Para cumplir estos objetivos, es de suma importancia modernizar el conocimiento de los materiales a fin de predecir su vida en diversas condiciones ambientales. 7 El rápido y disperso desarrollo de la tecnología del concreto ha contribuido en buena medida a demostrar que la durabilidad del mismo es de gran importancia, por los diversos efectos destructivos del ambiente y las consecuentes pérdidas económicas debidas a una baja durabilidad. 8

El caso de estudio

Para fines de aplicación de las diversas teorías que implica el concreto de alto desempeño, en cuanto a sus características físicas, químicas, económicas y sostenibles, y su posterior comprobación, se seleccionó un caso de estudio donde se produce un ataque de ácido sulfúrico al concreto; esto sucede, por ejemplo, en una planta industrial donde la actividad preponderante es la fabricación de acumuladores para vehículos automotores. El contacto principal del ácido se

efectúa en el piso, por el escurrimiento (aunque muy escaso) que se da cuando se está llenando de ácido el casco de los acumuladores, que es una operación semimanual. Otra forma en que llega el ácido al piso es cuando se evapora, después se condensa en la cubierta de lámina de la nave y eventualmente se precipita, simulando una lluvia ácida. Esta última condición da un ambiente extremadamente corrosivo, tanto en estado líquido como gaseoso. La estrategia que ha seguido la empresa del problema para disminuir los efectos nocivos del ácido es instalar una superficie de loseta de barro, adherida con cemento asfáltico, posteriormente una delgada membrana resistente al ácido, y después una capa de mortero basado en cemento de furán. Sin embargo, la duración efectiva de esta protección no es muy prolongada.

El efecto nocivo del ácido en el concreto se define principalmente como la lixiviación de la cal libre a consecuencia de la penetración del ácido, lo cual genera una matriz cada vez más porosa. Además, el ataque avanza conforme se hace más porosa la matriz de concreto. Otro tipo de degradación que a veces se presenta simultáneamente es la disolución de los productos de hidratación del cemento por su reacción química con el ácido. La inclusión de agregados ricos en calcio, o carbonatos de calcio, también hace al concreto más susceptible de ataque, puesto que su resistencia al ataque químico por ácidos es muy baja. 9 La mecánica de degradación empieza en la superficie del concreto con la lixiviación de la cal libre, propiciada por la porosidad que se encuentra en las superficies a causa de los capilares formados por el sangrado y el eventual agrietamiento plástico o por contracción por secado. Una vez que ha logrado penetrar, el producto de lixiviación y reacción más susceptible continúa siendo la cal libre. Se ha encontrado que la reacción del ácido, principalmente con la cal, neutraliza la acción destructora del ácido; sin embargo, la

neutralización dura hasta que se renueva la concentración del ácido. 10

La siguiente fase de ataque se puede presentar en los productos de hidratación del cemento denominados Hidratos de Silicato de Calcio (H-S-C), o en los agregados, según sea su composición mineralógica. La reacción con los H-S-C es una disolución que debilita severamente la integridad física de la pasta y su interfase con los agregados. Cuando un agente agresor, como es el ácido, penetra hasta la interfase, la cual es una zona relativamente más porosa que el resto de la matriz, 11 la razón de degradación aumenta rápidamente y se produce una repentina pérdida de adherencia con los agregados, causando la destrucción total del concreto. Además, para el caso del ácido sulfúrico, existe la eventual formación de sulfato de calcio, el cual reacciona expansivamente causando agrietamiento. 12 Es importante señalar que la razón de degradación global tiene un comportamiento progresivo, puesto que, conforme avanza el ataque, el concreto se hace más poroso, facilitando los canales de penetración. 12 Este es el comportamiento que se presenta en el concreto normal.

De aquí la necesidad de obtener un mortero (aplicable también a concretos) de alto desempeño resistente a ácidos, que se base en las características de baja permeabilidad que presenta, así como en la escasa presencia de redes de capilares o de los mismos capilares. En estos morteros, el favorecer una actividad puzolánica es bueno, porque la actividad puzolánica consume la cal libre, y los productos de hidratación del cemento incluyen hidratos de silicato de calcio con una relación calcio/sílice mucho menor, 9 constituyendo un compuesto de mucha mejor calidad que los H-S-C originales del cemento portland. De esta manera, los compuestos más susceptibles de ataque se han transformado en un compuesto mucho más

resistente, a la vez que se ha creado un producto con una polimerización más alta que adsorbe iones susceptibles de reacción, como son los de los álcalis y del aluminio, y es más resistente a la disminución del pH. 9, 10 Por otra parte, la resistencia mecánica de la pasta de un concreto de alto desempeño a cualquier tipo de agrietamiento es mucho más alta, incluyendo los que se puedan causar por las reacciones químicas del ácido con los productos de hidratación o con los agregados. Una consideración importante que se puede hacer es que, adicionando humos de sílice en 30 por ciento del peso del cemento, se consume totalmente el contenido de cal libre. 10 Sólo faltaría la selección de un agregado que tuviera una alta resistencia al ataque de ácidos.

Entonces, se supone que en un concreto o mortero de alto desempeño, el ataque del ácido sólo se presentaría en la superficie, con un avance muy lento, y con una penetración mucho más lenta, dada la baja permeabilidad de este material. La penetración de un fluido en un mortero de alto desempeño podría durar varios años, y está influida principalmente por los poros más pequeños, en el mediano plazo. 13

El objetivo

El objetivo de la presente investigación es efectuar un diseño, fabricación y análisis, con enfoque tecnológico y económico, del mortero de alto desempeño, considerándolo un material de construcción que puede incrementar notablemente la durabilidad de las estructuras de concreto. El material se investiga desde su fabricación con insumos de la región del noreste de México hasta su evaluación en la etapa de funcionamiento, considerando factores tales como su ciclo de vida, periodos de mantenimiento y ecoeficiencia, en función del medio y de los agentes presentes en el caso seleccionado.

La metodología

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, el estudio incluye un trabajo de laboratorio donde se somete el mortero de alto desempeño a condiciones extremas de exposición, simulando la situación más desfavorable. Para lograr esto se realizó un análisis de la información proporcionada por la empresa afectada por el problema; este análisis arrojó ciertos parámetros críticos, los cuales se consideraron para el estudio y delimitación de la experimentación.

Otro paso importante fue la documentación bibliográfica objetiva para el caso, y así mediante la interpretación de la información obtenida y su aplicación al caso, en conjunto con la modelación de los parámetros de diseño encontrados y su relación, es posible fabricar un buen concreto para resolver el problema. 14 El monitoreo posterior será lo que en realidad defina la certeza de las decisiones tomadas. 15

Considerando la situación de la mecánica de degradación del caso de estudio, fue necesaria la inclusión de agregados con una gran resistencia al ácido, y que hubieran demostrado una buena compatibilidad con el cemento, 16 además de que su fuente fuera cercana y explotable. De acuerdo con un análisis mineralógico y de localización de bancos, la opción más viable fue el empleo de basalto. La decisión se tomó con base en su composición mineralógica. El basalto es una roca ígnea básica efusiva de grano fino, a veces vítrea, de color oscuro y compacta. Los minerales esenciales son la plagioclasa cálcica y la piroxena. 17, 18 De acuerdo con un análisis bibliográfico, y con las características que presenta la roca seleccionada de un grano no tan fino, con una ligera porosidad y cierto contenido de burbujas, se encontró que la variedad escogida tiene como minerales principales alguna plagioclasa, augita, hiperstena, olivino y en

ocasiones vidrio, generalmente resistentes a los ácidos. Los minerales accesorios son la magnetita, ilmenita, ágata, cuarzo, calcita, clorita, zeolita. 19

Por otra parte, también se empleó cemento portland tipo I, humos de sílice para el consumo de los cristales de hidróxido de calcio, aditivo superfluidificante y agua potable. El comportamiento del aditivo que se esperaba, y que se obtuvo en la investigación, fue el de dispersar las partículas de cemento, a tal grado que la trabajabilidad fue adecuada. Esa dispersión fue necesaria para que, por la defloculación, el acomodo de las partículas de humo de sílice fuera más homogéneo y la actividad puzolánica se efectuara de una manera más rápida y uniforme. Asimismo, el efecto del aditivo sobre la distribución de los agregados en el mortero, en función de la viscosidad que genera, fue tal que coadyuvó a una mejor compactación del mortero –per se–, incrementando la densidad y disminuyendo la permeabilidad de manera global.

Para la definición de la granulometría, se decidió adoptar el Modelo de Suspensión de Sólidos, desarrollado por Thierry Sedran y François de Larrard en el Laboratorio Central de Puentes y Caminos de Francia. Este modelo ha sido utilizado en diseño de mezclas de concreto de alto desempeño, concreto compactado con rodillos, y en el desarrollo del concreto reactivo, con resultados altamente satisfactorios. 20 La granulometría empleada se muestra en la tabla 1.1. Sin embargo, aunque en la teoría y aplicación del modelo en el diseño de la mezcla, la granulometría considera todas las partículas en estado seco, y la granulometría es muy importante, competen más las características del mortero ya endurecido, y el modelo se debería referir adicionalmente a la porosidad del material precisamente en estado endurecido, por lo que la proporción (mas no la graduación) de los

ingredientes se definió por la porosidad final del mortero más baja posible, calculada por la fórmula (1), y se obtuvo un valor de 11.26 por ciento. Las proporciones finales se muestran en la tabla 1.2.

$$P M = (0.23 v w + v a) / 1-g \quad (1)$$

Dado el objetivo general de la investigación, la problemática del caso de estudio y el objetivo particular para la solución de éste, se hizo necesario el diseño de una prueba acelerada de ataque por ácido sulfúrico al mortero de alto desempeño que estuviera bien caracterizada por las condiciones reales, y cuyos resultados fueran precisos, uniformes, mensurables, repetibles, y con cierta facilidad de interpretación para su uso en el modelo real. Ahora bien, si se considera que, dentro del alcance de la investigación se encuentra la predicción de la vida útil del mortero de alto desempeño diseñado, precisamente en la estructura que eventualmente se emplearía, y el costo de su ciclo de vida, la definición de los parámetros que se van a buscar en la experimentación se debe precisar con exactitud. Para el desarrollo de la experimentación, se decidió adoptar la norma ASTM C-267-96 para la evaluación de la resistencia química del mortero de forma acelerada, y la norma ASTM E-632-92 para la predicción de la vida de servicio. Adicionalmente, se determinó la cantidad de huecos permeables a diversas edades de ataque, por medio de la norma ASTM C-642-97.

Mediante un análisis del costo de un sistema de piso propuesto basado en mortero de alto desempeño que incluía acero de refuerzo para evitar cualquier tipo de juntas y del costo del sistema empleado actualmente, se efectuó un análisis del costo del ciclo de vida para cada opción, considerando una vida estimada para el mortero de alto desempeño y la vida útil que ha presentado el sistema actual. Además, se establece la comparativa entre el consumo de

energía de los dos sistemas para evaluar su ecoeficiencia, con base en investigación bibliográfica.

Resultados y discusión

Siguiendo la norma ASTM C-267-96, se elaboraron cubos de mortero de alto desempeño de 2", los cuales tuvieron un curado de 24 horas en sus moldes a la temperatura ambiente y debidamente sellados, y luego un curado sumergido en agua saturada con cal a 23°C durante 14 días. Posteriormente se inició su inmersión continua en ácido sulfúrico (concentración aproximada, 10 por ciento), de acuerdo con la norma. La porosidad, que se obtuvo por la norma ASTM C-642-97, se estimó en los especímenes al término de su correspondiente periodo de inmersión en el ácido. Adicionalmente, se monitoreó continuamente el pH del ácido sulfúrico. Los resultados se muestran en la tabla 2.1. Al graficar los resultados correspondientes a la pérdida de peso (figura 1.1), se observa que existe una correspondencia aproximadamente lineal entre el tiempo y la pérdida de peso hasta cierto punto. Esta observación es la que dará sustento al modelo de predicción y costo del ciclo de vida del sistema de piso propuesto. La pérdida de peso lineal, paulatina, sin cambios bruscos de la razón de pérdida de peso, se corrobora con la observación en el microscopio electrónico de barrido (MEB) de los especímenes en la transición de la zona atacada a la zona sana (figura 1.3 y 1.4), donde se aprecia que no hay penetración del ácido por los poros o capilares, sino que la degradación se lleva a cabo en forma de exfoliación, por lo cual existe una frontera bien definida entre las dos zonas. Se apreció que el comportamiento del basalto frente al ataque del ácido en la experimentación fue excelente (figura 1.2), mostrando sólo una ligera pérdida de peso correspondiente a pequeñas fracciones de calcita incrustada en sus huecos. Por otra parte, la pasta

no presentó el comportamiento esperado, principalmente porque el curado no fue lo suficientemente prolongado, lo cual se apreció en el microscopio al aparecer fracciones de cemento sin hidratar, a la vez que a la actividad puzolánica todavía le faltaba mucho por desarrollar, tal y como lo indica el incremento en la resistencia a la compresión entre los especímenes testigo al inicio (14 días de curado sumergido; 42 MPa) y al final (14 días de curado sumergido y 28 días de curado al ambiente; 81 MPa) de la prueba de ataque químico.

Posteriormente se efectuó el análisis económico del sistema de piso propuesto con el mortero de alto desempeño desarrollado, considerando su fabricación en la obra. Se propuso que el piso se rehabilite de acuerdo con su duración real, mediante la aplicación de una capa de un cm del mismo mortero, después de retirar la capa de piso que ha sido atacada. Por otra parte, el sistema empleado actualmente con garantía de dos años tiene una vida promedio de tres años; sin embargo, la degradación no ocurre de manera uniforme en toda el área de piso, lo que origina un espectro de vida de dos a cuatro años; por lo tanto, para fines de este análisis se considerará que después de los dos años de garantía, se rehabilita la tercera parte cada año. Por sus características, la rehabilitación consiste en el reemplazo de todo el espesor de la parte afectada; debido a la contaminación de sus componentes, se considera poco seguro su reúso. Los costos considerados se muestran en la tabla 2.2. Para análisis del costo del ciclo de vida, además de los parámetros anteriores se considera un factor de ajuste de 15.42 por ciento y una TIIP de 26.42 por ciento correspondientes al año 1998; el resultado se expresa en la tabla 2.3, señalando claramente el ahorro en el ciclo de vida de la estructura. Adicionalmente se efectuó una sensibilidad en las tasas de ajuste y de interés, presentándose un comportamiento similar, y aun cuando el periodo de rehabilitación

del mortero de alto desempeño se reduce a seis meses, su costo del ciclo de vida es 55 por ciento del costo del sistema actual.

Con la finalidad de aproximar los cálculos en el futuro al proceso en escala real, se propone un modelo de costo de ciclo de vida (fórmula 2) del sistema de piso basado en mortero de alto desempeño, basado en la correspondencia lineal entre la pérdida de peso y el tiempo que se encontró en la prueba de resistencia química acelerada, que depende del parámetro pérdida de volumen. Para un mejor desempeño y utilización de este modelo, sería necesario calibrarlo una vez que se haya implementado en escala real, y llevar su precisión al grado óptimo basándose en estudios estadísticos. Dentro de los parámetros que debe considerar la empresa, obviamente se destaca el observar la productividad que se gana por la continuidad de sus procesos industriales cuando los procedimientos de reparación y/o rehabilitación se simplifican.

(2) donde:

A = Pérdida del espesor del piso a 15 días de ataque del ácido (mm).

B = Pérdida del espesor del piso a 30 días de ataque del ácido (mm).

s = Predicción del periodo de servicio aceptable del piso, en términos de meses.

Cs= Costos incurridos en el tiempo s.

S = Números de periodos de tiempo en el periodo de estudio.

F.E.= Factor de escalación mensual expresado en decimales.

TIIP=Tasa de interés interbancaria promedio mensual expresada en decimales.

Adicionalmente, mediante el empleo de la tabla 2.4, y considerando los componentes de los dos sistemas de piso, se encuentra que tan sólo la loseta de barro empleada por el sistema actual, cuya fabricación es muy similar a la del ladrillo, tiene un consumo de energía y una cantidad de emanaciones de SO₂ muy superior a la elaboración del concreto reforzado en toda su cadena productiva, por lo que fácilmente se aprecia la alta ecoeficiencia del sistema de mortero de alto desempeño para este caso.

Conclusiones

Los beneficios que se derivan del uso de un mortero de alto desempeño, en comparación con los que representa el uso de piezas cerámicas pegadas con adhesivo en el ambiente ácido estudiado son halagadores, especialmente si se considera que en el experimento discutido se sometió el mortero a un contacto directo con el ácido, situación extrema que no ocurre en la realidad y que sin embargo nos permite evaluar positivamente el comportamiento de este tipo de material. Se considera que los resultados obtenidos se deben indudablemente al empleo conjunto de varios parámetros clave en el diseño de mezclas de concreto de alto desempeño, como son el uso de agregados resistentes al ácido, el humo de sílice, que permite disminuir al mínimo la presencia de cal libre integrándola en un silicato hidratado que opondrá resistencia al deterioro, así como el empleo de un aditivo reductor de agua de alta calidad que facilite la elaboración y colocación de la mezcla. Y por supuesto, el empleo de un modelo teórico que permita dosificar el mortero de alto desempeño.

En cuanto al aspecto económico, el análisis respectivo del ciclo de vida del mortero de alto desempeño reafirma que es imprescindible que la

industria considere seriamente un mayor uso de este tipo de materiales, pues a la larga se pueden obtener grandes beneficios, ya que al requerirse un menor mantenimiento, la empresa puede reducir sus gastos no sólo en este renglón sino también evitar los gastos de operación que significa el tener que detener las actividades productivas para mantener frecuentemente o reparar su infraestructura.

Finalmente, si bien es cierto que pueden existir muchas soluciones al problema estudiado, también hay que considerar que es necesario seleccionar aquellas que sean definitivas. Una de estas soluciones es el consumo del concreto o del mortero de alto desempeño; pero aún es necesario desarrollar más su tecnología, con la finalidad de diseminarla con confiabilidad. Además, se debe propiciar el análisis de cualquier propuesta dentro de las dimensiones que envuelve el desarrollo sostenible, aportando nuevas herramientas para la toma de decisiones. Por otra parte, es necesario también establecer requerimientos estandarizados de predicción en lo que se refiere al análisis de vida útil y costo del ciclo de vida de un material o producto empleado en la construcción.

Referencias

1. ACI Committee 546, Concrete Repair Guide, 1996.
2. Proceedings of the Fourth CANMET / ACI International Conference on Durability of Concrete, 1997.
3. Civil Engineering Research Foundation, High Performance Construction Material and Systems: An essential program for America and its infrastructure, Report 93-5011, 93-5011.E, abril de 1993.
4. Frohnsdorff; G., S. Shyam Sunder; J.E.Hill,

High Performance Concrete Construction. Advanced Technology Program. Focused Program Recommendation, mayo 9 de 1995.

5. Moreno, Jaime, High Performance Concrete: Economic Considerations, Concrete International, marzo de 1998, pp. 68-70.

6. Ralls, Mary Lou, Texas High Performance Concrete Bridges: How much do they cost?, Concrete International, marzo de 1998.

7. UANL, Facultad e Instituto de Ingeniería Civil, Memoria del Seminario Internacional sobre Durabilidad del Concreto, 1993.

8. Cotrier Cavides, Juan Luis, Efecto de la Reacción Álcali-Agregado en el Concreto, Memoria del Seminario Internacional de Durabilidad del Concreto, UANL, 1993, p. 16.

9. Neville, Adam M., Properties of concrete, 4^a. ed., 1996.

10. Durning, Timothy y María C. Hicks, Using Microsilica to Increase Concrete's Resistance to Aggressive Chemicals, Concrete International, marzo de 1991.

11. Garboczi, E.J. y D.P. Bentz, Modeling of the Microstructure and Transport Properties of Concrete, Construction and Building Materials, vol. 10, núm. 3, 1996.

12. Banthia, N. y J. Sheng, Durability of Carbon Fiber Reinforced Cements in Acidic Environments, ACI SP-126-45, 1991.

13. Martys, Nicos S. y Chiara F. Ferraris, Capillary Transport in Mortars and Concrete, Cement and Concrete Research, vol. 27, núm. 5, 1997.

14. MacDonald, C.N., Durability Comparisons of

Fiber Reinforced Concrete in Chemical Plant Applications, ACI SP-126-41, 1991.

15. Mullick, A.K. y otros, Performance of Concrete Structures in Industrial Environment, ACI SP-126-30.

16. Neville, Adam M., Tecnología del concreto, 3ª. ed., 1989.

17. Whitten, D.G.A. y J.R.V. Brooks, Diccionario de geología, 1980.

18. Dana, James Dwight, Manual de mineralogía de Dana.

19. Bauer, Joroslav, Guía básica de los minerales, 1981.

20. Sedran. T.y F. de Larrand, René-LCPC: Un Logicel pour Optimiser la Formulation des Bétons à Hautes Performances (Software to optimize the mix design of high performance concrete), 4 th International Symposium on Utilization of High Strength / High Performance concrete, París, 1996.

21. Penttala, Vesa, Concrete and Sustainable Development, ACI Materials Journal, septiembre-octubre de 1997.

El doctor Jorge Gómez Domínguez es profesor del Departamento de Ingeniería Civil del ITESM Campus Monterrey.
jgomez@campus.mty.itesm.mx

El M.C. Juan Carlos Escobedo Salazar es egresado del ITESM Campus Monterrey.
jcescobedo@yahoo.com

**Instituto Mexicano del Cemento y del
Concreto, A.C.**
Revista Construcción y Tecnología
Noviembre 2000

Todos los derechos reservados

[ARTICULO
ANTERIOR](#)



[ARTICULO
SIGUIENTE](#)