

## Actualidad profesional

### **X Asamblea de la FICEM**

Del 28 al 30 de octubre en Cartagena de Indias, Colombia  
Informes: Instituto Colombiano de Productores de Cemento, Bogotá  
Tel.: 571-282 8972  
Fax: 571-284 8726

---

### **Primera Conferencia Internacional sobre Comercio, Transporte y Manejo de Cemento en el Medio Oriente, África del Norte y Océano Índico**

16 y 17 de noviembre de 1998 en Dubai, Emiratos Árabes Unidos  
Informes: INTERCEM Dubaig, 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.nettradecenter.com/intercem>

---

### **Simposio Internacional sobre Administración, Mantenimiento y Modernización de Instalaciones en Edificios**

Del 18 al 20 de noviembre en Singapur  
Informes:  
Tel.: (65) 334 2788  
Fax: (65) 334 0115  
E-mail: [recc@pacific.net.sg](mailto:recc@pacific.net.sg)

---

### **4o. Coloquio Internacional "Pisos Industriales'99"**

Del 12 al 14 de enero de 1999 en Ostfildern  
Informes: H.-J. Mesenholl, Technische Akademie Esslingen, Stuttgart  
Tel.: (xx49-7 11) 3 40 08 36  
Fax: (xx49-7 11) 3 40 08 43  
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

---

### **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)

---

**6a. Conferencia Internacional sobre Comercio, Transportación 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>

---

**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., Internatiomnal Congress Moscow-99, Organizing Committee  
Tel.: (095) 171-43-74 y 174-75-80  
Fax: (095) 171-43-74

---

**16o. Congreso Internacional BIBM '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

---

## **Optimización de la resistencia del cemento aluminoso fundido a tiempos tempranos de ensayo**

D. Knöfel, S. Duckwitz y Th. Bier

*ZKG International*, núm. 8, 1997, 8 pp.

Para obtener una resistencia a la compresión de la pasta de cemento endurecida de por lo menos 20 N/mm<sup>2</sup> a cuatro horas y de por lo menos 50 N/mm<sup>2</sup> a 24 horas, se estudió la posibilidad de acelerar el endurecimiento del cemento aluminoso adicionando núcleos de cristalización del mismo género, es decir, pequeñas cantidades del mismo tipo de cemento previamente hidratado.

---

## **High-strength concrete columns: State of the art**

ACI 441R-96

*ACI Structural Journal*, mayo-junio de 1997, 13 pp.

El informe reseña el estado del conocimiento acerca del comportamiento de las columnas de concreto de alta resistencia (CAR) a la compresión (más de 70 MPa). Destaca la investigación disponible sobre el comportamiento de las columnas sujetas a compresión concéntrica o excéntrica monótonamente creciente y con inversión de deformación lateral creciente e incremental y compresión axial constante.

Los resultados de investigación se utilizan para estudiar el efecto del concreto de recubrimiento y los parámetros relacionados con el refuerzo transversal sobre la resistencia y ductilidad de las columnas CAR sujetas a carga concéntrica.

## **Axial load behavior of large-scale spirally-reinforced high-strength concrete columns**

Stephen Pessiki y Annette Pieroni

*ACI Structural Journal*, mayo-junio de 1997, 11 pp.

Se presenta el resultado de una investigación en la que se observó el comportamiento en carga axial de ocho columnas de concreto con refuerzo en espiral. Las columnas, de 55 cm de diámetro, se proyectaron de acuerdo con el reglamento ACI 318 y se probaron en compresión axial concéntrica. Las columnas se hicieron con resistencia a la compresión de concreto que varió de 34.5 MPa a 69 MPa. Se evaluó la influencia de la resistencia del concreto, el refuerzo longitudinal y la relación tamaño/peso del refuerzo espiral sobre la resistencia y ductilidad de las columnas. Se observó el primer agrietamiento del recubrimiento de concreto, en comparación con las columnas de concreto de baja resistencia. Se observaron dos modos de falla de los ocho especímenes probados.

---

## **Bond strength tests on deformed reinforcement in normal weight concrete**

P.R. Walker, M.K. Batayneh y P.E. Rgan

*Materials and Structures*, vol. 30, agosto-septiembre de 1997, 6 pp.

Esta es un investigación cuyo objetivo primario fue estudiar el efecto de la presión lateral sobre la resistencia de adherencia del refuerzo en concreto de peso normal. Se investigaron las variables principales que afectan la resistencia de adherencia: resistencia del concreto, diámetro de la varilla de refuerzo, recubrimiento de concreto, presión lateral, posición de colado y espaciamiento de varillas.

---

## **Integrated view of shrinkage deformation**

P.C. Aïtcin, A.M. Neville y P. Acker

*Concrete International*, septiembre de 1997, 7 pp.

La contracción es un fenómeno aparentemente simple que se debe a la pérdida de agua. Estrictamente hablando, la contracción es una deformación tridimensional, pero se expresa generalmente como lineal porque en la mayor parte de elementos expuestos de concreto, una o dos dimensiones son mucho más pequeñas que la tercera, y los efectos de la contracción son mayores en la dimensión más grande. Este artículo ofrece algunas sugerencias prácticas para reducir al mínimo las consecuencias, frecuentemente muy dañinas, de la contracción del concreto, y están también dirigidas al concreto de alto rendimiento.

## **ACI 318-95 appendix B: Beam design applications**

Richard W. Furlong

*Concrete International*, junio de 1997, 11 pp.

Este documento presenta aplicaciones de diseño de vigas en concordancia con las Provisiones de Diseño Unificadas de ACI 318-95, Apéndice B. Las aplicaciones comprenden procedimientos de cálculo que son muy similares a procedimientos ya familiares en la práctica de diseño dentro del cuerpo del ACI 318-95 y ediciones previas de los reglamentos ACI 318.

# Ataque por cloruros en el concreto

Ingeniero Humberto Alejandro Girón Vargas

## PRESENTACIÓN:

Por la gran extensión de litoral marítimo con que cuenta México, la corrosión que provoca en las estructuras de concreto el contacto con el agua de mar y la brisa marina es un tema que interesa de manera especial al sector constructivo del país. Así se reconoce en este estudio, cuyo enfoque sitúa el problema en ambientes que no resultan por sí mismos muy claramente agresivos por la acción de los cloruros.

Existe una conciencia general en la práctica constructiva común respecto de las precauciones que deben seguirse en la fabricación de elementos y estructuras de concreto claramente expuestos a ambientes de carácter agresivo, por el deterioro que ocasiona el contacto directo con sustancias naturales en el suelo o en el agua. Dada su elevada concentración de cloruros (más de 20,000 ppm), destaca como medio ofensivo el agua de mar en su estado normal porque favorece la corrosión del acero de refuerzo

No obstante, se presentan en la actualidad serios y veloces deterioros estructurales por el ataque al concreto de cloruros disueltos en el aire, presentes en ambientes marinos con alta humedad relativa y acción constante del viento, tales como las fajas costeras. En algunas circunstancias, el problema se agrava por la presencia de intensa y variada actividad industrial en la zona, como es el caso particular del Golfo de México.

En este trabajo se analiza el proceso de afectación del concreto y del acero de refuerzo sometidos a ambientes que no resultan por sí mismos tan claramente agresivos a causa de la acción de los cloruros, a no ser por la evidencia de ataques anteriores que han resultado en su degradación o destrucción.

Revisar y evaluar el potencial de daño en tales circunstancias, sus causas, los agentes que lo favorecen y sus efectos finales sobre las estructuras es el objetivo aquí planteado, para así delinear y establecer procedimientos generales para su prevención, control o reparación.

## El proceso y sus agentes

La corrosión del acero de refuerzo existente dentro del concreto se origina por la presencia exclusiva de oxígeno y humedad en las proximidades de las barras, pero la existencia de cloruros libres en el medio que las rodea es un desencadenante del proceso.

En el agua de mar, en su estado normal, se puede encontrar un amplio rango de concentraciones de sales disueltas, aunque siempre con una proporción constante de un constituyente a otro; las concentraciones son más bajas en las zonas frías o templadas que en las cálidas y resultan especialmente altas en zonas de aguas bajas con tasas excesivas de evaporación diurna.

Debido a su alto contenido de cloruros, el agua de mar representa un elemento ofensivo para el concreto y el acero de refuerzo pues propicia y acelera –una vez que se ha iniciado– el fenómeno de la corrosión. En las franjas costeras, la brisa marina acarrea importantes contenidos de humedad que, naturalmente, lleva en sí cloruros; de esta manera, estructuras que no están en contacto directo con el agua de mar, sufren igualmente sus embates.

Los cloruros se vuelven así un elemento activo en el proceso de daño y degradación de las estructuras de concreto en franjas marítimas. De acuerdo con la concentración con que se presenten en el agua de mar, quedará definido su grado de agresividad, por lo que habrá que esperar que algunas zonas tengan un mayor potencial dañino que otras.

El fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo es causa frecuente de que las estructuras de concreto se deterioren prematuramente, aun cuando el concreto, por su alta alcalinidad con un pH promedio de 12.5 y baja conductividad, suele ser un medio que proporciona buena protección al acero contra la corrosión. Sin embargo, dentro de un esquema de ambiente agresivo, esta protección no es suficientemente eficaz y el fenómeno se produce. Pero existen también condiciones que de origen la favorecen y son las siguientes:

- Excesiva porosidad del concreto
- Reducido espesor del recubrimiento de concreto sobre el refuerzo
- Existencia de grietas en la estructura
- Alta concentración de agentes corrosivos en los componentes del concreto

#### Efectos en el concreto

La resistencia a compresión ha sido utilizada por lo regular como un indicador de la durabilidad del concreto; sin embargo, cada día se hace más evidente que por sí misma no determina la durabilidad del concreto. La impermeabilidad y la resistencia química rigen también la vida útil de una estructura, aunque estos factores están a su vez influidos por la composición del cemento y la calidad de la mezcla.

Los cloruros pueden estar presentes desde el inicio en la mezcla de concreto fresco (disueltos en los agregados, en los aditivos o en el agua). Se refieren como *cloruros totales calculados* y se expresan como el porcentaje de ion cloruro respecto al peso de cemento, el que debe limitarse, de acuerdo con la más reciente información, a:

---

Tipo de exposición Límite por peso de cemento (%)

---

Ambiente agresivo

y expuesto a cloruro 0.06

Ambiente agresivo

y no expuesto a cloruro 0.15

Construcción sobre al suelo

y seca permanentemente 1.50

---

Esto es lo que generalmente especifican diversas normas y reglamentos de construcción en el mundo, aunque suele también limitarse en función de la cantidad de ion cloruro en peso por metro cúbico de concreto, y tiene que ver de manera directa con el umbral de riesgo, de acuerdo con la siguiente tabla:

---

Condiciones de exposición Límite por volumen

de concreto ( $\text{kg/m}^3$ )

---

Ambiente agresivo

y expuesto a cloruro 0.3

Ambiente agresivo

y no expuesto a cloruro 0.5

Construcción sobre

el suelo y seca

permanentemente sin limitación

---

El ion cloruro puede también penetrar posteriormente en el interior del concreto por difusión desde el exterior, en cuyo caso el riesgo de corrosión se incrementa grandemente.

Los cloruros totales en el concreto se pueden subdividir químicamente en ligados y libres. Esta distinción resulta importante ya que son los cloruros libres los responsables de la corrosión del acero de refuerzo.

Los cloruros ligados son los que están íntimamente asociados al cemento hidratado y no son solubles en agua, por lo que no causan corrosión; por lo tanto, los límites en las especificaciones deben aplicarse al contenido de cloruros libres en lugar de al contenido total o soluble en ácido. No obstante, con los datos de las actuales investigaciones no es posible calcular con precisión su proporción en relación con el contenido total de cloruros, ya que varía con los cambios en el contenido de cloruros totales, aunque, considerando que el cloruro libre es soluble en agua, se lo puede extraer y así determinar su proporción.

En términos de la química del concreto, se asume que el cloruro total es igual a la porción soluble en ácido de los constituyentes del concreto; así su extracción, previa a la determinación del contenido, implica digerir una muestra de concreto endurecido en ácido nítrico.

El procedimiento de extracción para la determinación del contenido de cloruros libres requiere hervir una muestra de concreto endurecido durante cinco minutos y saturar por 24 horas.

Amplias investigaciones indican claramente que el contenido de cloruro soluble en agua proporciona un indicador del riesgo inmediato de corrosión. Comparativamente con los métodos de extracción de agua, los métodos de digestión en ácido extraen una mayor proporción de los cloruros totales presentes en el concreto, por lo que una interpretación apoyada en estos resultados resultará siempre en una sobreestimación del riesgo inmediato de corrosión.

Por otra parte, los niveles de cloruros solubles en ácido pueden resultar más adecuados para evaluar el riesgo extremo de corrosión a largo plazo si el concreto ha sufrido procesos adicionales de carbonatación o sulfatación. La carbonatación libera cloruro ligado, mientras que la presencia de sulfatos la impide hasta cierto punto; la reacción entre el cloruro y el aluminato tricálcico incrementa así los cloruros libres.

El efecto directo más nocivo por acción de cloruros en la mezcla de concreto endurecido está constituido por la cristalización de las sales dentro de sus poros, la cual puede producir rupturas debidas a la presión ejercida por los cristales de sal. Puesto que la cristalización ocurre en el punto de evaporación del agua, este tipo de ataque se produce de manera más acentuada en el concreto que no está permanentemente en contacto directo con el agua. No obstante, debido a que la sal en solución penetra y asciende por capilaridad, el ataque es más intenso cuando el agua o la humedad pueden penetrar en el concreto, de tal suerte que la permeabilidad de este material es un factor de gran importancia, y el clima tropical propio de nuestras franjas costeras actúa como catalizador del proceso.

En el caso del concreto reforzado, la absorción de las sales establece áreas anódicas y catódicas; la acción electrolítica resultante conduce a una acumulación de producción de la corrosión sobre el acero, con la consecuente ruptura del concreto que lo rodea, de tal manera que los efectos se agravan.

Efectos en el acero de refuerzo



Como ya se ha referido anteriormente, la pasta de cemento no carbonatada tiene un pH mínimo de 12.5 y el acero de refuerzo no se corroe en esa circunstancia, fundamentalmente por la presencia de una película pasivante microscópica de óxido que evita su disolución anódica. No obstante, si el pH disminuye a menos de 10 por la acción de efectos tales como la carbonatación, la corrosión puede iniciarse. El efecto de la carbonatación puede disminuir el pH a niveles de 8 o 9, resultando en corrosión del acero cuando están presentes la humedad y los iones cloruro disueltos en agua en niveles por encima de 0.2 por ciento relativos a la masa de cemento, lo cual acelera la corrosión.

Cabe destacar que, en opinión de diversos autores, la corrosión puede iniciarse por la acción de iones de cloruro sobre el acero de refuerzo, aun en ambientes con un pH superior a 10 u 11, aunque estos casos se relacionan con cloruros presentes de origen en la mezcla por efectos de los agregados, el agua o los aditivos, pues los que penetran del exterior están generalmente asociados con el proceso de carbonatación, el cual incide inmediatamente sobre los niveles de pH en el concreto.

La corrosión electroquímica de los elementos consiste básicamente en la conexión eléctrica o electrolítica entre un cátodo y un ánodo. En relación con el acero embebido en el concreto, las barras de refuerzo actuarán como un conductor eléctrico y el agua en los poros de la pasta actuará como electrolito. Durante el proceso de corrosión, el oxígeno es consumido y genera los productos de corrosión; el agua se necesita para permitir que el proceso de corrosión se mantenga y continúe, su presencia se relaciona con la generación de óxido férrico. Así, el resultado principal y más grave de la acción de los cloruros sobre el acero de refuerzo lo constituye la corrosión acelerada que éste sufre a consecuencia de su acción como catalizador en ese proceso electrolítico.

En muchas estructuras de concreto localizadas en ambientes marinos cercanos a las costas, en las que el daño se ha iniciado a través de una incipiente penetración de cloruros hacia el acero –como consecuencia de una permeabilidad natural excesiva del concreto, su carbonatación o el agrietamiento de las secciones–, la acción de la corrosión y del incremento de diámetro de las varillas causan por sí mismas agrietamiento en el recubrimiento del concreto, lo que facilita en gran medida el acceso de humedad, aire y cloruros contenidos en el agua, y acelera así el proceso de ataque, llevando las estructuras a daños irreversibles en periodos notablemente cortos. Así, ante la sospecha de ataque, se deberán incorporar de inmediato programas de reparación y mantenimiento de los elementos afectados.

### Incidencia del agrietamiento

La existencia de grietas en el concreto no es condición indispensable para que se produzca corrosión en el acero de refuerzo, pero su presencia favorece la ocurrencia de este fenómeno, pues la película pasivante en la superficie del acero se rompe en un área estrictamente confinada, lo cual resulta equivalente a un severo ataque por carbonatación en el concreto y genera zonas de máxima vulnerabilidad en la tasa de corrosión. Debido a ello es necesario, para prolongar la vida útil de las estructuras de concreto reforzado, prevenir la formación de grietas o suministrar un tratamiento adecuado de obturación a las que ya se hayan presentado.

Las grietas en el concreto pueden dividirse en dos grandes grupos: las que se producen por esfuerzos debidos al funcionamiento estructural y las que se deben a esfuerzos que se originan en el seno mismo del concreto. Así, la formación de grietas depende de factores tales como el diseño estructural, las características de los materiales, la composición del concreto, las prácticas constructivas, las condiciones ambientales y la manifestación de situaciones anómalas y de eventos extraordinarios.

En el caso de las grietas comunes, asociadas con el propio funcionamiento y naturaleza del concreto, con anchos que fluctúan de 0.15 a 0.35 mm, tienen un comportamiento autosellante en ambientes no agresivos, por efecto de calcificación, polvo y depósitos de óxido. No obstante, en ambientes agresivos colaboran también a la acumulación de sales que pueden agravar esa magnitud de agrietamiento a consecuencia de su cristalización. Asimismo, las grietas que se desarrollan perpendiculares al refuerzo resultan menos peligrosas que las de dirección paralela a éste, por la menor exposición que propician.

Los factores que principalmente pueden vincularse con determinados sitios o regiones geográficas son las características de los agregados y las condiciones ambientales, que influyen sobre los agrietamientos atribuibles a las contracciones –plástica y por secado– y a las reacciones deletéreas que eventualmente se producen entre los álcalis del cemento y algunos agregados.

En la república mexicana, las características de los agregados y las condiciones ambientales son muy variables; existen casos en los que tales características y condiciones se muestran favorables a motivar este tipo de agrietamiento en el concreto. Habría que considerar como riesgo potencial todos aquellos sitios del país donde los agregados contuvieran rocas y minerales reactivos con los álcalis.

## Durabilidad del concreto

### El medio ambiente

Las estructuras de concreto están expuestas durante su vida útil al ataque químico y físico de diferentes agentes. La durabilidad del concreto variará entonces conforme tales factores sean más o menos agresivos, y también de acuerdo con las propiedades de sus componentes, el proporcionamiento de la mezcla y las condiciones de colado y curado que se hayan aplicado en su construcción.

La planeación y el diseño deberán entonces no solamente estar basadas en el uso de la estructura, sino también en las condiciones ambientales y en la vida útil esperada de la misma. Estas definiciones básicas deberán estar reflejadas en los materiales y especificaciones de construcción, y tanto en el concepto como en los detalles estructurales.

En el contexto de la práctica común, se diseña y detalla no sólo para las cargas que actuarán en la vida útil de una estructura, sino también para los efectos de agrietamiento y temperatura; in embargo, sólo se consideran condiciones especiales de exposición para grupos muy

particulares de estructuras.

Es muy común que los códigos y normas actuales sólo prescriban las variaciones adecuadas de la relación agua/cemento y del recubrimiento de concreto sobre el acero de refuerzo de acuerdo con una clasificación muy simple de las condiciones de exposición. Sin embargo, en la práctica se encuentran muchas y más diversificadas condiciones de exposición, y no sólo en relación con el medio ambiente, sino también según el uso pretendido de la estructura.

En condiciones de ambientes eminentemente agresivos, las precauciones y los cuidados en la construcción deben realmente extremarse. No obstante, existen condiciones no tan claramente agresivas, por lo que, con el fin de obtener estructuras durables se ha considerado que éstas son afectadas por el viento y la humedad marítima que contienen grandes cantidades de sal, así como por los ciclos de humedecimiento y secado. Se vuelve entonces muy importante la detección y el estudio de las características climáticas más relevantes de la región en la que se ubicará la estructura, es decir, los cambios estacionales de la dirección de los vientos, la temperatura, la humedad relativa y la precipitación pluvial; inclusive, podría en muchos casos resultar deseable y útil contar con el análisis de la composición química del agua de mar.

Como se mencionó anteriormente, existen dos factores preponderantes en la determinación de la tasa de corrosión: la resistividad eléctrica del concreto y la disponibilidad de oxígeno en el cátodo, los cuales se relacionan con los siguientes factores:

- Contenido de humedad en el concreto. Mientras que un incremento de la humedad en el concreto reduce su resistividad, reduce también la penetración y difusión de oxígeno, que se vuelve mínima para el concreto saturado; de esa forma, el concreto permanentemente sumergido en agua de mar sufre corrosión lenta, mientras que los concretos expuestos a humedecimiento y secado intermitentes son más susceptibles de corroerse.
- Temperatura. Estudios de campo y de laboratorio han mostrado que la corrosión en el acero de refuerzo se acelera con el incremento de la temperatura, en virtud de que ésta afecta directamente la solubilidad del oxígeno y también la movilidad de sustancias tales como los cloruros que participan preponderantemente en el proceso de corrosión. También, los cambios bruscos de temperatura en el aire ambiental pueden resultar en condensación de agua sobre la superficie de concreto y cambiar así su contenido de humedad.
- Presencia de sales. La presencia de sales provoca generalmente dos efectos que resultan opuestos uno al otro: reducen la resistividad del electrolito, incrementando así la velocidad de corrosión, y en concentraciones altas disminuye la solubilidad del oxígeno y puede por lo tanto disminuir la velocidad de corrosión.

El contenido de  $C_3A$  en el cemento forma un complejo insoluble, hidrato de cloroaluminato de calcio, el cual inhibe cierta proporción de los cloruros totales y disminuye así el riesgo de corrosión. Sin embargo, en un ambiente con presencia de sulfatos y cloruros, los iones sulfato alteran ese complejo debido a la formación preferencial de hidrosulfoaluminato de calcio, lo que resulta en la liberación de algunos cloruros ligados que quedan así disponibles para la

corrosión del acero. Un proceso similar de liberación de cloruros se genera bajo la acción del dióxido de carbono presente en la atmósfera, ya que también puede descomponer los hidratos de cloroaluminato.

El dióxido de carbono puede asimismo penetrar en el concreto, aunque su tasa de penetración se puede controlar eficazmente mediante la impermeabilidad de un concreto de buena calidad. El CO<sub>2</sub>, el dióxido de sulfuro y el óxido nítrico, considerados importantes contaminantes del aire, reaccionan también con los hidróxidos en el concreto y los convierten en carbonatos. Así, todos ellos, en condiciones naturales de exposición, dan lugar a procesos de carbonatación del concreto, por lo que la carbonatación (**ver**) es hoy su mecanismo dominante de neutralización.

Potencial de cloruros en el aire

a) Aire marítimo. Estudios realizados en otros países indican una gran diversidad de componentes químicos en el agua de mar, con una amplia gama de concentraciones. Resulta entonces improductivo generalizar una presencia promedio de elementos nocivos para el buen comportamiento de las estructuras de concreto. Podemos citar como ejemplo una reciente investigación en Japón, que detectó una variación en cloruros del agua de mar que osciló entre 0.01 y 0.20 mg de cloruro de sodio por cm<sup>2</sup>. Otro estudio encontró concentraciones particularmente elevadas del ion cloruro, las cuales variaban alrededor de 21,700 ppm.. Asimismo, se detectaron contenidos de sulfatos sobre 3800 ppm, y los más altos valores de sulfitos registrados en el mundo.

Aun cuando en nuestro país no se conocen datos concretos, resulta evidente la presencia de sulfitos, carbonatos y cloruros en el agua de mar, los cuales necesariamente resultan dañinos para las estructuras de concreto. Así, con el agravante de la acción de la temperatura, casi constante en todo el año, asociada al clima tropical de nuestros litorales y a la acción de los vientos también propios de estas zonas, se conjuntan todos los factores que generan ambientes altamente propicios para que se produzca la corrosión en el acero de refuerzo de las estructuras de concreto, tal y como se refirió al describir la incidencia de cada uno de esos aspectos en el proceso general.

b) Zonas industriales. La presencia de contaminantes en el medio ambiente, generados por la emisión de las industrias, provoca una diversidad de componentes químicos (con diferentes grados de concentración cada uno) mayor de la que se podría observar en un ambiente marítimo natural, aunque es altamente probable la preponderancia del óxido de carbono, algunos sulfatos y nitratos que, como se refiere, inciden en la disminución del pH natural del concreto y en procesos de carbonatación que favorecen la entrada de humedad y agentes corrosivos hacia el acero de refuerzo.

Como se señaló en el inciso anterior, las zonas costeras cuentan con condiciones que propician la corrosión del acero de refuerzo por los componentes químicos que flotan en el aire. Por lo tanto, la emisión de contaminantes de zonas industriales en esas áreas viene a agudizar la problemática, pues la gran aleatoriedad en la presencia de cada componente impide el establecimiento de normas o recomendaciones en cuanto a cuidados específicos y

hace necesario el estudio de cada caso en particular, con el apoyo del conocimiento que pueda proporcionar el estado del arte actual en cuanto a tecnología del concreto.

## Procedimientos de control

### Durante la fabricación del concreto

a) Cemento. La pasta de cemento portland bien hidratada contiene de 15 a 30 por ciento de hidróxido de calcio por peso de cemento, siendo éste el responsable de la alcalinidad del concreto y de la formación de la película de óxido gamma férrico sobre la superficie del acero. También contribuye a inhibir la corrosión del acero el aluminato tricálcico, que al combinarse con los cloruros forma compuestos no solubles de cloroaluminato cálcico, reduciendo el contenido de cloruros libres que promueven el proceso de corrosión. Diversas experiencias muestran que a mayor contenido de aluminato tricálcico, mejor es el comportamiento de la pasta para inhibir la corrosión. Así, un cemento que contenía 9.5 por ciento de  $C_3A$  mejoró 1.62 veces su comportamiento respecto a otro que contenía 2.8 por ciento; también se probaron cementos con 9, 11 y 14 por ciento de  $C_3A$ , lo cual mejoró su comportamiento en 1.75, 1.93 y 2.45 veces respectivamente en relación con el que contenía sólo 2.8 por ciento. Con lo anterior se evidencia que la relación composición/tipo del cemento incide de manera directa sobre la etapa de iniciación del proceso de corrosión, aunque en la práctica se ha observado que su efecto puede ser relativamente pequeño si se lo compara con el de una pobre calidad del concreto, falta de recubrimiento, prácticas de baja calidad en la construcción, curado inadecuado, etcétera.

Por otra parte, la estructura de los poros de la matriz de la pasta de cemento es uno de los factores que reducen la movilidad de los iones de cloruro en el concreto. Ciertos tipos de cemento que contienen cenizas volantes o escoria de alto horno muestran una gran capacidad para restringir la movilidad de los iones cloruro. También con la estructura de los poros resultantes en la matriz de la pasta tiene que ver la finura del cemento empleado, pues se encontró experimentalmente que el tiempo de ataque fue de 3.9 años cuando la superficie específica fue de 444  $m^2/kg$ , en contraste con 2.5 años para una superficie específica de 300  $m^2/kg$ .

La permeabilidad del concreto elaborado con cantidades apropiadas de escoria o puzolana puede llegar a ser tan baja como un décimo o centésimo de la de un concreto de resistencia comparable elaborado sin esas adiciones.

b) Agua y agregados. La permeabilidad del concreto es probablemente el factor aislado más importante que incide en el proceso de corrosión puesto que, para un recubrimiento dado, la permeabilidad determina el grado de penetración de agentes agresivos desde el ambiente. A la vez, concretos de alta permeabilidad tendrán también baja resistividad, como se manifestó en su oportunidad.

La permeabilidad del concreto está intrínsecamente relacionada con la relación agua/cemento, particularmente cuando ésta excede de 0.6, pues entonces la permeabilidad resultante crece

de manera exponencial. En términos generales, las investigaciones al respecto coinciden en mantener la relación agua/cemento por debajo de 0.5 para condiciones moderadas de exposición, e incluso limitarla hasta 0.4 para condiciones muy severas, lo cual se refleja en la mayor parte de las normas y reglamentos vigentes.

El agua empleada en la elaboración del concreto deberá tener un contenido máximo de cloruros tal que la suma de los cloruros presentes en los constituyentes de la mezcla, incluyendo los aditivos, no sobrepase las recomendaciones citadas en el primer capítulo de este documento.

En cuanto a agregados comunes, existe poca posibilidad, si no es que ninguna, de que contengan cloruros en concentración representativa, incluso cuando se empleen agregados tales como arenas de playa en la elaboración del concreto. Se debe tener especial cuidado en respetar la máxima concentración permisible de cloruros totales en la mezcla, para lo cual habrá que revisar la presencia de cloruros solubles en los agregados con es clase de origen.

Durante el colado

a) Efectos de vibrado. Una plena compactación es esencial para expeler todo el aire atrapado, para consolidar el concreto, reducir el riesgo de agrietamiento por contracción o asentamiento, así como para asegurar una buena liga tanto entre las capas de concreto colocado como con el acero de refuerzo, con el resultado de un elemento homogéneo. Un vibrado inadecuado resultará en un incremento del número y tamaño de los huecos y, por consiguiente, en un notable incremento de la permeabilidad, con las consecuencias que se han discutido anteriormente.

b) Recubrimiento del acero. Como ya se dijo, tanto la carbonatación como los cloruros penetran en el interior del concreto; si en su penetración alcanzan el acero de refuerzo, éste iniciará su proceso de corrosión. Diversos estudios han demostrado que la velocidad de avance de tal penetración se relaciona con una función de la raíz cuadrada del tiempo, es decir, si el recubrimiento se reduce a la mitad en un elemento de concreto, la etapa de penetración alcanzará su valor crítico en menos de una cuarta parte del tiempo; esto hace patente la importancia de un recubrimiento adecuado.

La tendencia general de las normas y reglamentos de construcción define la cantidad de recubrimiento requerido para garantizar la vida útil de una estructura en función de su grado de exposición a agentes agresivos, variando desde 1 cm para las condiciones más benignas, hasta 7.5 cm para aquellas muy agresivas. Es responsabilidad del proyectista emplear la elección adecuada.

Los recubrimientos son generalmente definidos como la distancia libre desde el punto más cercano de la superficie de concreto al refuerzo; no obstante, es preciso considerar tanto el refuerzo principal como el transversal. La superficie permanente más cercana se define como la superficie de concreto terminado libre de cualquier recubrimiento posterior.

El constructor y el supervisor tienen influencia decisiva en este aspecto. Algunos estudios de campo han demostrado que existen variaciones con amplia dispersión en la magnitud real del recubrimiento en las secciones de concreto; destacan que 62 por ciento de las construcciones investigadas tenían un recubrimiento menor que el especificado en el proyecto, con una media de 5 mm, lo cual en la mayor parte de los casos se debió a que se había desplazado el refuerzo de su posición original para permitir el acomodo de las instalaciones. Así, en caso de dudarse de que los requerimientos vayan a ser cumplidos, bajo la tolerancia especificada, deberá estipularse en el proyecto una magnitud mayor, en el sentido de tener en cuenta las tolerancias incrementadas.

Aunque la magnitud del recubrimiento es muy importante, no provee por sí misma la protección suficiente para el refuerzo, ya que si bien los factores dominantes en el proceso de corrosión se vinculan estrechamente con ella, también tienen que ver con la calidad del concreto.

Después del colado

a) Recubrimientos y protecciones. Aunque no constituyen estrictamente un recubrimiento o protección permanente, los agentes de curado son de primordial importancia en la obtención de un concreto de buena calidad, puesto que las superficies de concretos no curados son inevitablemente más permeables y, por lo tanto, menos durables que las del concreto curado.

El curado inicial es vital para los efectos de la durabilidad, y cualquier día menos de aplicación del mismo equivale a alrededor de tres meses de exposición al efecto intermitente de humedecimiento y secado.

En lo que respecta a proporcionar protección al acero contra la corrosión, existen aditivos que la inhiben al generar una película de espesor molecular que protege y estabiliza la capa pasiva, y su efecto se mantiene aun en ausencia de contacto directo con el concreto. Estos productos muestran la propiedad de migrar a través del concreto por distancias de 1 a 2 metros, con lo cual, además de utilizarse como constituyente de la formulación original del concreto, puede extenderse su uso y desempeñarse como tratamiento preventivo de la corrosión cuando el concreto original no haya sido tratado, o como tratamiento correctivo en casos en los que esté desarrollándose un proceso de corrosión para detener el avance del mismo.

Existen en el mercado materiales para la protección posterior del concreto, reducir su permeabilidad superficial e incluso impedir el paso de cualquier agente agresivo, los cuales están elaborados con una amplia gama de componentes que van desde las parafinas hasta los productos epóxicos. Evidentemente, la elección de uno u otro producto será función directa del grado de exposición del elemento, así como del grado de vulnerabilidad propia que de origen posea.

En general, el éxito de estos recubrimientos estriba en su aplicación, pues todos ellos requieren que la superficie se encuentre libre de agua, grasa u objetos extraños, de tal manera que permitan una estrecha adherencia sobre la superficie del elemento que se ha de proteger.

Para que puedan considerarse efectivos, debe garantizarse que la resistencia adhesiva con el concreto sea cuando menos igual a la resistencia en tensión del concreto en la superficie.

Es importante remarcar que cualquiera de estas protecciones es temporal –unas tienen mayor durabilidad que otras– y, por lo tanto, todas requieren una supervisión y mantenimiento programados. Asimismo, cualquier agrietamiento en la superficie de concreto, incluyendo aquellos que ocurren después de la aplicación de la protección, se reflejarán a través de ésta si la estructura está sujeta a movimientos por cambio de temperatura o cargas externas. Este movimiento del concreto puede llegar a anular la habilidad de la barrera para brindarle protección al concreto.

### Estructuras dañadas

a) Procedimientos de evaluación. Ya se había dicho que existen dos etapas en el proceso de afectación; en la primera, la de iniciación, no se aprecia el daño a simple vista, y se han de emplear técnicas apoyadas en análisis e indicadores químicos. En la segunda, la de propagación, el daño se manifiesta a través de fisuras paralelas al acero de refuerzo, acompañadas de manchas de color rojizo; en casos extremos se observan desprendimientos del recubrimiento y una disminución del área útil de la barra.

Cualquiera que sean la causa y el avance del daño, es esencial determinar su extensión y averiguar si la estructura posee la calidad suficiente para poder colocar una reparación sana. Sobre la base de esta información podrán elegirse el tipo y extensión de la reparación. Este es el paso más delicado, en el cual se requiere un profundo conocimiento de la materia y un juicio maduro por parte del ingeniero. Si el daño es resultado de una exposición moderada sobre un concreto de calidad inferior, su reemplazo por otro de calidad suficiente asegurará buenos resultados. Por otra parte, si es un concreto de buena calidad el que ha sido destruido, el problema se torna más complejo y se requerirá un concreto de calidad superior.

En el caso específico de ataques por cloruros, puede haber una variación considerable de un punto a otro de la estructura; habrá necesidad entonces de tomar muestras en varios puntos sobre la totalidad de la estructura. Se recomienda para esto la extracción de corazones de concreto de 10 cm de diámetro para agregado de 20 mm, o de 15 cm de diámetro para agregado de 40 mm. Alternativamente, se pueden practicar barrenos de 10 mm de diámetro a diferentes profundidades, de manera de recolectar el polvo que se obtiene en la barrenación y proceder a su análisis químico.

Cuando se extraen corazones de concreto, éstos son seccionados en discos de espesor constante, sin utilizar agua de refrigeración. La determinación del perfil de afectación se lleva a cabo siguiendo técnicas de lixiviación o bien mediante el análisis del líquido de poros extraído de las muestras; pueden complementarse o apoyarse con métodos colorimétricos, tiñendo el concreto con soluciones al 0.1 de nitrato de plata.

b) Esquemas de reparación. Es difícil particularizar sobre la utilización detallada de uno u otro método, pues ésta depende del grado de afectación y extensión que muestren los elementos;



sin embargo, pueden definirse dos esquemas básicos.

El primero consiste en el reemplazo general del concreto dañado con concreto de proporcionamiento y consistencia adecuadas, de tal manera que se integre plenamente con el concreto base. Este es el método que ha de seguirse en los casos en que el grado de afectación sea importante en cuanto a magnitud o profundidad; cantidades considerables de concreto habrán de ser removidas hasta que se tenga plena certeza de haber alcanzado concreto sano. Se requerirá siempre la utilización de cimbra.

Una variante de este esquema, en el caso de una afectación de poca extensión pero de gran profundidad, consiste en el empleo del retacado con mezclas muy secas o de tipo epóxico, colocadas en capas delgadas; de esta forma, prácticamente no ocurrirá contracción y se desarrollará una resistencia igual o superior a la del concreto original.

El segundo método consiste en la aplicación de concreto lanzado, el cual tiene una excelente adherencia con el concreto existente y es frecuentemente la solución más satisfactoria y económica para hacer reparaciones superficiales; se adapta particularmente a superficies verticales o sobrecabeza, donde es capaz de soportarse por sí mismo sin la necesidad de cimbras. Existen en la actualidad morteros predosificados y equipos especiales simplificados a costos accesibles.

Principal atención ha de prestarse al acero de refuerzo; en el caso de observarse una profundidad tolerable de corrosión, podrá simplemente limpiarse mediante medios mecánicos o con chorro de arena; no obstante, cuando su grado de afectación sea mayor, deberá reemplazarse por completo.

## Conclusiones

El concreto se comportará en general de manera satisfactoria cuando esté expuesto a variadas condiciones atmosféricas, a la mayor parte de aguas y suelos que contengan sustancias agresivas y a muchas otras clases de exposición química. Existen sin embargo algunos ambientes químicos, incluso de origen natural, en los cuales la vida útil de una estructura, aunque esté elaborada con el mejor concreto, será corta, a menos que se tomen medidas y cuidados específicos. El conocimiento de esas condiciones permitirá tomar dichas medidas para prevenir el deterioro o reducir la velocidad con la que el daño ocurre.

De manera natural, el concreto proporciona protección contra la corrosión del acero, en virtud de su alcalinidad. El grado de protección estará en función del recubrimiento de concreto, su calidad, los detalles de construcción y el grado de exposición.

La revisión efectuada a lo largo de este estudio demuestra que no hay duda respecto de que un concreto impermeable y de buena calidad será el mejor medio para prevenir la corrosión. No obstante, debe destacarse que no importa lo cuidadosas y exigentes que sean las especificaciones para preparar la mezcla; siempre se requerirá una cuidadosa supervisión en el sitio para asegurar que se siguen las técnicas adecuadas para un buen colocado, vibrado y

curado.

El texto de este artículo fue tomado de la tesina presentada por el autor en el Diplomado de Obras de Concreto que imparten la Facultad de Arquitectura de la UNAM y el IMCYC.

## Concreto, sensibilidad, arquitectura

Arquitectas Isaura González Gottdiener y Aldara Chaos Cador

### PRESENTACIÓN:

Esta reflexión, hecha desde la perspectiva de la arquitectura, parte de los inicios del concreto como material de la modernidad para desembocar en las posibilidades que hoy le abre la innovación tecnológica. Destaca la variedad de recursos que la prefabricación y el precolado ponen en manos del diseñador, permitiéndole lograr resultados estéticos y obtener a la vez beneficios económicos gracias a la simplificación del proceso constructivo.

"Mediante el uso de materiales inertes y partiendo de condiciones más o menos utilitarias, habéis establecido ciertas relaciones que han suscitado mis emociones. Esto es

### ARQUITECTURA." Le Corbusier

Vivir la arquitectura, escucharla con los ojos y habitarla, deja en sus espacios las huellas de miles de vidas, buscando entre el ruido de las ciudades trozos de materia que hablan en distintos lenguajes y bajo cielos diversos.

El presente artículo, como todos, como la vida, se puede leer de muchas maneras distintas, haciendo recorridos que son complementarios, como acercamientos parciales a una realidad que es siempre mucho más extensa y más rica.

La utilización del concreto en la arquitectura es resultado de una estricta y moderna ingeniería que contiene las virtudes absolutas y eternas de una tradición arquitectónica anterior. Producto de la evolución, el material, en vez de hablar sólo de sí mismo, empezó a hablar de ideas sobre escala, presencia y expresión, estructura convincente como hecho más que como idea.

Desde el punto de vista histórico, esto resultaba de lo más provocativo y prometedor en formas rectangulares vacías interrumpidas sólo por columnas, una claridad en la desnuda geometría de la estructura; espacios abiertos e ideales en todos los sentidos de la palabra: ideal para las necesidades de amplitud, limpieza, claridad, ausencia de decoración, etcétera. Es decir, un sistema fundamental de líneas horizontales y verticales de cargas y soportes, separadas de la manera más racional y económica posible.

Le Corbusier lo había aclamado como "los primeros frutos de la Nueva Era". Las imágenes de las fábricas y los elevadores de concreto constituían una iconografía utilizable, un lenguaje formal, por medio del cual se podían hacer promesas, mostrar adhesión al credo del movimiento moderno y señalar el camino hacia algún tipo de utopía tecnológica. El concreto representaría más que ningún otro los métodos constructivos del siglo XX.

Uno de los más destacados pioneros en el empleo del concreto fue Ernest L. Ransome,

durante la última parte del siglo XIX. Nacido en 1852, Ransome procedía de una conocida familia inglesa de fundidores de hierro e ingenieros, que dejaron una importante huella en el nivel mundial como fabricantes de productos tan diversos como apisonadoras y máquinas para cortar el césped, entre otros. La energía de Ransome, su inventiva y, sobre todo, su astucia, le aseguraron un puesto permanente en los anales de la construcción con concreto.

Durante las primeras etapas de gestación de la modernidad, hasta alrededor de los años cuarenta, los autores tendieron a dar gran importancia al empleo pionero de "nuevos" materiales tales como el hierro fundido, el cristal, el acero y el concreto. Cualquier ingeniero o arquitecto que hubiera utilizado alguno de éstos en una fecha suficientemente temprana, por muy poco definido o dudoso que fuera el trabajo realizado, tenía todas las probabilidades de asegurarse un puesto respetable en el panteón de la modernidad.

El concreto ha sustituido al ladrillo o a la piedra de la tradición anterior. Material muy versátil, capaz de asumir cualquier forma según el encofrado en que se lo vierta, no pasó mucho tiempo sin que se investigara su plasticidad para elaborar efectos arquitectónicos de gran trascendencia.

Sin embargo, el sentido de las construcciones está atenuado por una relación inseparable con un parámetro especial, que tiene una importancia decisiva: ellas no adquieren ese aspecto monumental y "tallado" más que cuando se las ve de lejos, para convertirse en algo efímero pero acomodaticio. Es evidente el signo de una condición acomodaticia, cuya estructura simbólica refleja la diversidad de las vidas de los hombres y mujeres en el momento actual y revela, que en realidad, forman parte de la vida secreta de los edificios, y también un gran deseo de que sean al mismo tiempo iconos urbanos reconocibles.

El concreto hacia el siglo XXI

"El ingeniero, inspirado por la ley de la economía, y llevado por el cálculo, nos pone de acuerdo con las leyes del universo. Logra la armonía.

El arquitecto, por el ordenamiento de las formas, obtiene un orden que es pura creación de su espíritu. Por las formas, afecta intensamente nuestros sentidos provocando emociones plásticas. Por las relaciones que crea, despierta en nosotros profundas resonancias, nos da la medida de un orden que se siente de acuerdo con el del mundo, determina reacciones diversas de nuestro espíritu y de nuestro corazón.

Y entonces percibimos la belleza." Le Corbusier

La belleza en la arquitectura, como en toda concepción estética, encarna el terreno de lo subjetivo. Sin embargo, al ser materia, la arquitectura depende no sólo de la estética de las

proporciones sino también de los materiales. De la correcta aplicación de éstos depende en gran parte el resultado final, lo que conlleva un proceso de aprendizaje, tanto para el diseñador como para el constructor.

El concreto es un material plástico que, junto con sus propiedades estructurales, ofrece enormes posibilidades de empleo como acabado final. Su versatilidad permite tener superficies pulidas o agresivas; el uso de agregados tales como grava, mármol y ónix lo dotan de texturas diversas que al ser modificadas con sopletes abrasivos, técnicas de esmerilado, desescamado neumático y gran variedad de otras técnicas, producen infinidad de epidermis. De tono grisáceo o café, según el tipo de cemento con que se haga la mezcla, el color del concreto puede obtenerse por medio de pigmentos.

Dadas su economía y manejabilidad, el concreto es un popular material de revestimiento. Ya sea colado en sitio, prefabricado o precolado, ofrece cada día nuevas posibilidades gracias al avance de la tecnología.

### **La prefabricación**

El concreto prefabricado evoluciona constantemente; es una herramienta poderosa para el diseñador. Las innovaciones tecnológicas en su composición, moldes y acabados, han incrementado de tal modo su calidad que puede competir con los recubrimientos de fachada más exclusivos.

El tamaño de los elementos prefabricados está en estrecha relación con la conveniencia de su manejo, transporte y montaje. Estas condiciones están dadas por el fabricante, quien puede variarlas de acuerdo con los requerimientos del diseñador, siempre que exista una lógica entre el proceso de diseño y el proceso de producción y construcción. Conjugar dentro de nuestra realidad la aplicación de la tecnología y el diseño creador es la pauta para lograr resultados óptimos.

El buen diseño de estos elementos resuelve desde el carácter plástico del edificio hasta factores prácticos y funcionales tales como juntas, goteros, drenes y conexiones, lo cual, aunado al correcto proceso de producción y construcción, resulta en beneficios económicos.

Claro está que la prefabricación y el empleo de componentes no constituyen una respuesta a todos los problemas del diseño y la construcción. Del análisis de cada caso particular y del resultado estético que se pretenda lograr, dependerá la elección del proceso constructivo que se utilizará. Por lo regular, la elección de productos prefabricados está en directa relación con los tiempos y costos de obra. A estos factores debemos agregar el del mejoramiento del control de calidad que se refleja en el aspecto visual de las obras.

Hacer uso de los procesos industrializados no debe ser sinónimo de encasillamiento en un modelo de proyecto arquitectónico. Muchas construcciones de nuestro siglo han caído en la repetición de esquemas al utilizar elementos prefabricados, mas ello no implica que deba limitarse la libertad de diseño. Existen excelentes obras en las que el uso de estos elementos

conforman un lenguaje estético que las dota de una identidad particular.

## **El precolado**

Además de los elementos prefabricados, que son los que se hacen fuera de la obra, existen los elementos precolados, que son los que se fabrican dentro de la misma obra pero fuera de su destino final de servicio. Elementos de diseño especial que no sean productos de línea comercial dentro del rubro de los prefabricados entran en esta clasificación. Este procedimiento abre una extensa gama de posibilidades al diseñador y facilita el proceso de construcción, redundando nuevamente en beneficios económicos. La flexibilidad de que puede ser objeto el concreto lo sitúa como un material plástico, cambiante, escultórico, del que pueden obtenerse resultados estéticos ilimitados que distan mucho de ser tristes, monótonos y aburridos, calificativos con los que se lo relaciona tradicionalmente.

El empleo del concreto arquitectónico juega un papel predominante en la actualidad, dada la gama de posibilidades que ofrece. Para que su aplicación sea correcta y exitosa, es sumamente importante el trabajo conjunto de diseñadores, fabricantes y constructores ya que permite obtener ventajas no sólo en el aspecto estético sino también en cuanto a lo funcional, lo constructivo y lo económico. De cara al siglo XXI, el concreto continuará siendo, gracias al avance de la tecnología, un material sumamente versátil que, además de ser económico, puede ser hermoso, como lo demuestran muchas obras que son imagen de nuestro tiempo.

# Métodos de diseño por resistencia última para concreto reforzado aplicados en todo el mundo

John A. Zachar y Tarun R. Naik

**PRESENTACIÓN:** Dada la importancia que el método de diseño por resistencia tiene para el diseño de estructuras de concreto reforzado, en este artículo se analizan sus principios a la vez que se comparan las diversas formas en que el concepto es tratado en el reglamento del ACI, el australiano, el canadiense, el británico y el europeo unificado CEB.

En los 40 años que han transcurrido desde que en el Reglamento 318-56 del American Concrete Institute (ACI) se introdujo el llamado método de diseño por resistencia última, éste se ha convertido en el método principal para el diseño de estructuras de concreto reforzado en Estados Unidos. El concepto de diseño último o de estado límite también ha sido incorporado en reglamentos de construcción de diversos países. Sin embargo, no hay un consenso general entre los códigos acerca de los factores empleados para relacionar las cargas de servicio con las cargas últimas. En este artículo se analizan los principios del método de diseño por resistencia y se compara el tratamiento del concepto de diseño por resistencia en los reglamentos de diferentes países. Los reglamentos que se han comparado son el del ACI,<sup>1</sup> el australiano,<sup>2</sup> el canadiense,<sup>3</sup> el británico<sup>4</sup> y el europeo unificado CEB.<sup>5</sup>

Una de las ventajas del método de diseño por resistencia es que el ingeniero cuenta con una estimación definitiva del factor de seguridad aplicado al diseño que define su reserva estructural. El factor de seguridad total tiene dos componentes: uno está basado en la carga, y el otro en los materiales y fabricación. El ingeniero debe considerar el caso de una estructura más débil que la esperada, sometida a cargas más altas que las estimadas.

Para el componente del factor de seguridad basado en carga, la carga real de trabajo se incrementa por medio de factores recomendados en los reglamentos a fin de simular la carga "última". No todas las cargas se incrementan por un solo factor. En vez de ello, diferentes factores se aplican a distintos tipos de cargas, siendo las principales la carga muerta (DL) y la carga viva (LL). En el reglamento ACI 318-89 la carga última se define como 1.4 veces la carga muerta más 1.7 veces la carga viva.

Debe observarse que cuando en el reglamento ACI 318-56 se introdujo el concepto de diseño por resistencia última, los factores por carga muerta y por carga viva eran de 1.5 y 1.8, respectivamente. Los factores de 1.4 y 1.7 se adoptaron en la versión ACI 318-71 y han permanecido invariables en el reglamento actual. En la figura 1 se ilustra la manera en que los factores de sobrecarga aumentan las cargas de servicio en aproximadamente tres desviaciones estándar, lo cual representa una probabilidad de ocurrencia de carga última de menos de uno en 1/1000.

El segundo componente del factor de seguridad permite la reducción de la resistencia calculada de la sección mediante la aplicación de un factor de subcapacidad o de reducción de

resistencia. Este factor toma en cuenta las variaciones en el material y en la fabricación, las aproximaciones en el diseño y la ductilidad e importancia relativa del elemento estructural. Al factor de reducción de resistencia se le conoce comúnmente como un "factor resistente" ya que representa una reducción de la capacidad del miembro para soportar la carga. Al factor de reducción de resistencia se le identifica con el símbolo  $f$  en la sección 9.3.2 del reglamento ACI 318-89. Para flexión,  $f$  es igual a 0.9; para cortante o torsión tiene un valor de 0.85, y para carga axial varía entre 0.7 y 0.75. Es un procedimiento común en los reglamentos de construcción de muchos países relacionar la capacidad de carga de servicio con alguna reducción de la capacidad última de la sección, aunque los reglamentos de los distintos países no se ponen de acuerdo en los valores de los factores de reducción de la resistencia ni en los valores de sobrecarga.

En la figura 2 se muestra la relación entre la carga de servicio y la resistencia última. Esto se hace mediante dos curvas de probabilidad idealizadas, las cuales reflejan los efectos de los factores de reducción por sobrecarga y por resistencia. Para el diseño de una viga que trabaje a presión con base en los criterios ACI 318-89, el momento último está relacionado con el momento de servicio mediante la fórmula  $1.4 *MDL + 1.7 *MLL = f *Mn$ , donde MDL se refiere al momento por carga muerta, y MLL representa el momento por carga viva. El factor  $f$  de reducción de resistencia es igual a 0.9 para cálculos relacionados con momentos flexionantes. El momento de servicio,  $M_s$ , resulta igual a MDL más MLL. Si el valor de MDL se supone igual al de MLL, entonces  $M_s$  se calcula igual a  $0.58 *Mn$ . Cuando MDL sólo alcanza  $0.7 *MLL$ , entonces  $M_s$  resulta igual a  $0.57 *Mn$ . Si MDL es igual a  $1.3 *MLL$ , entonces el valor de  $M_s$  será de  $0.59 *Mn$ . Por lo tanto, resulta evidente que la variación entre los momentos por carga muerta y por carga viva afecta muy poco la relación entre el momento de servicio y el momento último. En los reglamentos de otros países se aplican factores de reducción por sobrecarga y por resistencia que difieren de los establecidos en el reglamento de construcción ACI. En el cuadro 1 se presenta una comparación de los factores utilizados en distintos reglamentos.

¿Son los reglamentos canadiense, británico y el CEB realmente tan diferentes al del ACI como parece indicar el cuadro 1? No, a pesar de que estos reglamentos no contienen directamente un factor  $f$  global, de hecho sí presentan factores de reducción parcial de resistencia basados en los materiales incluidos en los cálculos preliminares. A diferencia del reglamento ACI, en los reglamentos británico y CEB no se aplica directamente el límite aparente de fluencia del acero ( $f_y$ ). En vez de ello, se utiliza un esfuerzo de "diseño"  $f_{yd} = f_y / t_s$ , donde  $t_s$  es igual a 1.15. El término  $t_s$  es un factor de reducción de resistencia específico del acero. Por lo tanto, la fuerza de tensión calculada con los reglamentos CEB o británico equivale a sólo 87% de la fuerza de tensión ( $T$ ) calculada de acuerdo con el reglamento ACI de construcción empleando  $T = A_s * f_y$ . En el reglamento canadiense se aplica un factor de reducción parcial  $f_s$  aplicado a la resistencia del acero, de tal forma que  $T = A_s * f_s * f_y$ , donde  $f_s = 0.85$ . De manera similar, en los reglamentos canadiense, británico y CEB no se aplica directamente la resistencia  $f'_c$ . En el canadiense se utiliza un factor parcial  $f = 0.6$  que se aplica a  $f'_c$ . En los reglamentos británico y CEB se aplica un factor de reducción  $t_c$  a la resistencia del concreto de la misma manera en



que  $t_c$  se aplicó al esfuerzo del acero. El valor de  $t_c$  es igual a 1.5 en los reglamentos británico y CEB. El factor  $t_c$  se puede considerar igual al producto de tres factores,  $t_{c1}$ ,  $t_{c2}$  y  $t_{c3}$ , que toman en cuenta las incertidumbres y las desviaciones entre diseño, pruebas de laboratorio y construcción real. Con esto se logra la misma finalidad que el valor global de  $f$  empleado en el reglamento ACI de construcción. Taerwe<sup>6</sup> ha llevado a cabo una amplia investigación relacionada con estos factores parciales y ha confirmado su validez continua en el caso de concretos de alta resistencia. La capacidad por momento de una sección, calculada a partir de factores de reducción parcial de la resistencia, se puede comparar para llegar a un equivalente matemático del factor  $f$  global utilizado en el reglamento ACI de construcción. Estos factores globales equivalentes de reducción de la resistencia se muestran en el cuadro 2.

Para ilustrar el cálculo del factor equivalente de reducción de resistencia se presenta a continuación una comparación entre el reglamento ACI y el canadiense. En ambos casos se aplica el concepto del bloque de esfuerzos de Whitney para predecir el momento último. La ecuación fundamental para el ACI es:

$$M_n = T$$

donde  $d$  es igual a la profundidad del centroide del acero de refuerzo medido a partir de la cara extrema de compresión, y  $a$  es la profundidad del bloque de esfuerzos de Whitney. Suponiendo que  $T = A_s f_y$  y que  $C = T$ , se obtiene:

$$M_n = A_s f_y$$

La ecuación para calcular el momento último dentro del reglamento canadiense es básicamente la misma que la incluida en el reglamento ACI, con la adición de los factores de reducción parcial  $f_c$  y  $f_s$ :

$$M_r = f_s A_s f_y$$

Si se hacen hipótesis generales tales como una profundidad  $d$  igual al doble del ancho  $b$ , y se fija el valor canadiense de  $M_r$  igual a  $f$  multiplicado por el valor ACI  $M_n$ , el factor equivalente de reducción de la resistencia  $f$  se podrá calcular (en este caso resulta igual a  $f = 0.77$ ).

Como se mencionó anteriormente, si el valor de MDL se supone igual al valor de MLL, y el momento por carga de servicio  $M_s$  es igual a  $MDL + MLL$ , entonces la combinación de los factores de carga y de reducción de la resistencia que se usan en el reglamento ACI traería como resultado un valor de  $M_s$  igual a  $0.58 * M_n$ . Si se aplican las mismas hipótesis a los otros reglamentos, se obtendrán los resultados mostrados en el cuadro 3.

## Conclusiones

El concepto de resistencia última de diseño se acepta y se aplica en reglamentos de todo el mundo, pero en los reglamentos de varios países no se ponen de acuerdo si utilizar ya sea los factores de sobrecarga para relacionar las cargas de servicio con las cargas últimas nominales, o si aplicar los factores de reducción de la resistencia para tomar en cuenta las diferencias en los materiales y en la fabricación. Sin embargo, en la comparación final, los resultados son esencialmente idénticos.

El reglamento australiano, con factores por sobrecarga de 1.25 y 1.5, aparecía inicialmente menos conservador que el reglamento ACI (con factores de 1.4 y 1.7). Sin embargo, como se muestra en el cuadro 3, el empleo de un valor  $f = 0.8$  da lugar a una relación entre momento de servicio y momento último idéntica a la de ACI. En el reglamento canadiense se aplican los mismos factores de sobrecarga que en el australiano, pero los factores de reducción parcial dan lugar a un valor equivalente menor de  $f$ , por lo que el reglamento canadiense se vuelve ligeramente más conservador que el del ACI. En el reglamento británico y en el CEB también se aplican menores factores de sobrecarga, pero sus menores valores equivalentes de  $f$  traen como resultado relaciones entre los momentos de servicio y últimos que son iguales o prácticamente iguales que los del ACI.

La investigación realizada por MacGregor<sup>7</sup> y por Ellington *et al.*<sup>8</sup> ha sugerido que los factores óptimos de sobrecarga por flexión deberían ser de 1.25 para carga muerta y de 1.42 para carga viva. El factor  $f$  para flexión se sugiere igual a 0.81. Aunque no existe la necesidad inmediata de revisar los factores ACI actuales de sobrecarga o de reducción de la resistencia, la comunidad internacional de ingenieros diseñadores de concreto reforzado deberá trabajar para estandarizar el método empleado en la definición del estado último.

## Referencias

1. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89)*, Detroit, EUA, American Concrete Institute, 1989.
2. Standards Association of Australia, *As 3600 - 1988 Concrete Structures*, North Sydney, Australia, Standards House.
3. Canadian Standards Association, *Design of Concrete Structures for Buildings (CAN3-A23.3-M84)*, Rexdale, Canadá, CSA.
4. British Standards Association, *The Structural Use of Concrete, BS 8110, 1985*, Londres, Inglaterra, BSA.
5. *CEB-FIP Model Code 1990*, Lausana, Suiza, Comité Euro-International du Béton.
6. L.R. Taerwe, "Partial safety factor for high strength concrete under compression", *Proceedings of High-Strength Concrete 1993*, Lillehammer, Noruega, junio de 1993.

7. J.G. MacGregor, "Safety and limit states design for reinforced concrete", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 3, 4, diciembre de 1976.

8. B. Ellingwood *et al.*, *Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58*, NBS Special Publication 577, NBS, 1980.

**(Pies y textos interiores de cuadros y figuras:)**

Figura 1. Curva de frecuencia de ocurrencia para comparar la carga de servicio con la carga última, suponiendo una distribución estadísticamente normal.

- (1) Carga de servicio promedio (DL y LL)
- (2) Frecuencia de ocurrencia
- (3) Una desviación estándar
- (4) Carga de servicio incrementada por factores de sobrecarga (DL y LL)

Cuadro 1. Factores de carga y de reducción para varios reglamentos

- (1) Reglamento
- (2) Factores de sobrecarga
- (3) Carga muerta
- (4) Carga viva
- (5) Factor global de reducción de resistencia (a flexión)
- (6) Australiano Canadiense Británico

Figura 2. Curvas de frecuencia de ocurrencia para carga y resistencia.

- (1) Carga de servicio promedio (DL y LL)
- (2) Resistencia última nominal
- (3) Una desviación estándar

- (4) Resistencia última reducida por factor de reducción de la resistencia
- (5) Carga de servicio incrementada por factores de sobrecarga (DL y LL )

Cuadro 2. Factores globales de reducción de la resistencia, reales o equivalentes

- (1) Reglamento
- (2) Factores de sobrecarga
- (3) Factor global de reducción de la resistencia (a flexión)
- (4) Carga muerta
- (5) Carga viva

Cuadro 3. Relación entre momento de servicio y momento último

- (1) para dar lugar a
- (2) Australiano Canadiense Británico

Este artículo se publicó en *Materials and Structures* en mayo de 1996 y se reproduce con la autorización de

# Monitoreo y control de la corrosión en estructuras de concreto

F. Almeraya Calderón, Tiburcio C. Gaona y A. Martínez Villafañe

**PRESENTACIÓN:** La corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto es un problema que preocupa seriamente al sector de la construcción en todo el mundo. Este trabajo, producto de la investigación, proporciona un panorama del estado actual de las dificultades ya que, luego de exponer de una manera clara y concisa las causas y el desarrollo del fenómeno, pasa revista tanto a las técnicas de medición y monitoreo como a los métodos de control que hoy día se utilizan.

En la actualidad, y desde hace tiempo, el material de construcción más difundido es el concreto; su consumo supera el de cualquier otro. Una parte muy importante de las estructuras de concreto está reforzada con varillas de acero, y la corrosión de estos refuerzos es la causa principal del deterioro de las mismas. Entre los problemas más importantes para el mantenimiento de la integridad estructural de las obras civiles (figura 1) como son puentes, túneles, carreteras, muelles, etcétera, de un país está la corrosión de las varillas de los sistemas de concreto reforzado. El informe Hoar calculó pérdidas por corrosión de 250 millones de libras esterlinas en el sector de la construcción del Reino Unido, las que constituían 18 por ciento del total para el año 1971. Con este ejemplo queda claro el orden de magnitud y el tamaño del problema al que nos referimos.

Las primeras observaciones de corrosión del acero embebido en el concreto fueron hechas a principios de este siglo, principalmente en ambientes marinos y plantas químicas. Sin embargo, sólo a mediados del mismo se inició el estudio sistemático de este problema que ha llegado a ocupar un lugar muy importante dentro de las investigaciones sobre corrosión en el nivel mundial, por los problemas y tipos de estructuras involucrados.

## Corrosión del acero embebido en concreto

El concreto junto con las varillas de acero forma el sistema conocido como concreto reforzado, que presenta excelentes propiedades mecánicas a la tensión y a la compresión gracias a sus elementos constitutivos. Además de esto, el pH del concreto (aproximadamente 12.5) ofrece condiciones ideales para la pasivación del acero. Por lo tanto, el concreto fabricado con cemento portland proporciona a los materiales embebidos en él una protección adecuada contra la corrosión. Se puede atribuir esta protección a la elevada alcalinidad del concreto y a su resistencia eléctrica específica, la cual es relativamente alta en condiciones de exposición atmosférica.

Para que se forme una celda de corrosión en el concreto es necesaria la presencia de un electrolito, que es una solución capaz de conducir la corriente eléctrica por medio de un flujo de iones. Cualquier concreto húmedo contiene suficiente electrolito para conducir una corriente que puede causar corrosión, mientras más seco esté un concreto, menor será su conductividad. Las reacciones involucradas en el proceso son como sigue:

La reacción anódica, en la cual el hierro se oxida a iones ferrosos:  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

La reacción catódica, en la cual el oxígeno se reduce a iones  $\text{OH}^-$ :  $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{4} \text{O}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{OH}^-$

En una segunda etapa, el ion  $\text{Fe}^{2+}$  disuelto reacciona con otros aniones del agua y se transforma en óxidos de hierro por un número de reacciones complejas, formando la capa pasivante lo suficientemente compacta para evitar que continúe el ataque en la superficie. Las reacciones de hidratación que se llevan

a cabo en el cemento durante el curado son de gran interés e importancia ya que uno de los productos de éstas, se encuentra directamente relacionado con la protección que el concreto proporciona a las estructuras de acero reforzado. Los silicatos del cemento producen con el agua el principal cementante e hidróxido de calcio, cuya cantidad es generalmente suficiente para mantener un pH alrededor de 13 en la solución contenida en los poros del concreto, independientemente del contenido de humedad.

El grado de protección que puede dar un concreto es, con frecuencia, una función de la calidad, del espesor del recubrimiento y de seguir buenas prácticas constructivas. Sin embargo, a pesar de la protección contra la corrosión que usualmente proporciona el concreto, se tiene noticia de un número desconcertante de casos de corrosión de aceros ahogados en el concreto, la que sucede cuando se hallan presentes cloruros u otros iones agresivos que estimulan la corrosión (figura 2). La presencia de estos agentes agresivos puede provenir de las mismas adiciones hechas al concreto durante su preparación –por ejemplo, acelerantes del curado–, durante la preparación con agua que contiene altas concentraciones de cloruros, o bien del medio ambiente externo; ellos se difunden a través del concreto, atacan el metal y producen óxidos con volumen mayor que el metal original, originando con esto grandes presiones internas, suficientes para fracturar el concreto.

Los procesos de corrosión de refuerzos metálicos embebidos en concreto son por lo tanto de naturaleza muy compleja, aun en los casos más simples. Tales procesos están influidos por numerosos factores (cuadro 1) que dependen de la composición química del concreto, la metalurgia del refuerzo, la mecánica del sistema, el ambiente, el uso de aditivos, etcétera.

Factores dependientes del concreto	Factores dependientes del refuerzo metálico	Factores dependientes del medio de servicio
Permeabilidad, porosidad, recubrimientos, tipos de cemento, agregados, aditivos y puesta en obra.	Naturaleza física y química del refuerzo, condición superficial del mismo (óxido superficial, recubrimientos, etc.), sollicitaciones mecánicas (tensión, compresión y torsión).	Humedad relativa, temperatura, degradación biológica, acción de diversas sustancias ( $\text{Cl}^-$ , $\text{O}_2$ , $\text{SO}_4$ , $\text{SO}_2$ y $\text{CO}_2$ ), corrientes parásitas y protección catódica.

Cuadro 1. Factores relacionados con el proceso de corrosión

#### Medición y monitoreo de la velocidad de corrosión

En la actualidad existen diversas técnicas electroquímicas para la evaluación de la corrosión del acero en concreto, tanto en laboratorio como en campo. La más sencilla y utilizada en campo es la medición del potencial de corrosión. Esta es la medición de un parámetro termodinámico que aunque muy útil, ya que revela el estado superficial de las varillas, no da información acerca de la cinética o velocidad con la que

procede la corrosión. Las técnicas electroquímicas que suministran información acerca de la cinética de corrosión son las curvas de polarización, resistencia a la polarización e impedancia electroquímica, basadas en la teoría de *Stern-Geary* de cinética de corrosión. De estas técnicas las últimas dos son las más utilizadas en la actualidad.

Cuando se hace actuar a un metal como electrodo de trabajo en una celda electroquímica, el potencial del mismo cambia con el tiempo, en función del propio sistema metal-electrolito y de la polarización que se aplica mediante una fuente de potencial-corriente eléctrica externa. Las gráficas que se obtienen relacionan el cambio de potencial con la densidad de corriente y se denominan curvas de polarización (figura 3). Las curvas de polarización son una valiosa herramienta en corrosión ya que se puede obtener información acerca de los procesos que ocurren y se puede calcular la velocidad de corrosión.

Existen dos métodos para obtener la velocidad de corrosión por técnicas de corriente directa, los cuales parten de la ecuación de Butler-Volmer de cinética electroquímica, para potenciales de corrosión suficientemente alejados de los potenciales reversibles de las reacciones acopladas anódica y catódica, se obtiene la relación entre el potencial y la corriente:

$$I = I_{corr} ( \exp 2.303 ( E - E_{corr} ) / b_a - \exp(-2.303 ( E - E_{corr} ) ) / b_b )$$

donde  $b_a$  y  $b_b$  son las pendientes anódica y catódica de Tafel respectivamente, e  $I_{corr}$  es la intensidad de corrosión.

Al alejarse lo suficiente del potencial de corrosión, uno de los términos exponenciales de la ecuación se hace despreciable. Suponer que el primer término de la ecuación es el dominante, se obtiene así la ecuación de Tafel para la parte anódica:

$$\log I = \log I_{corr} + 2.303 ( E - E_{corr} ) / b_a$$

De manera análoga se realiza el análisis para la rama catódica. La intensidad de corrosión se obtiene extrapolando las pendientes anódica y catódica de la curva de polarización, donde se cruzan éstas o bien donde alguna de ellas cruza con el valor de potencial de corrosión, como se ve en la figura 6.

Contrariamente al método de Tafel, el de resistencia a la polarización requiere polarizaciones pequeñas. Se deduce a partir de la misma ecuación de Butler-Volmer, teniendo en cuenta que dicha ecuación presenta un comportamiento lineal en la curva de polarización, cuando  $E - E_{corr}$  tiende a cero. Por analogía con la ley de Ohm, el cociente del sobrepotencial entre la respuesta de corriente ( $DE/DI$ ) tiene dimensiones de corriente eléctrica por lo que se conoce como resistencia de polarización  $R_p$ . El cálculo de la velocidad de corrosión propuesto por Stern-Geary está dado por:

$$I_{corr} = b / R_p$$

donde  $b$  es una constante definida por las pendientes anódica y catódica.

La técnica de impedancia electroquímica es una técnica de corriente alterna que involucra elementos eléctricos en función de la frecuencia de la señal. La impedancia  $Z$  es un vector, y por lo tanto posee un módulo y un ángulo de fase. Este vector se puede representar en el plano complejo en función de una parte real y una imaginaria:

$$Z(w) = Z'(w) + j Z''(w)$$

donde  $w$  es la frecuencia angular. La representación de  $Z$ , con la  $w$  como variable en el plano complejo, se conoce como diagrama de Nyquist (figura 4). Para analizar el diagrama de impedancia de un sistema electroquímico se hace necesario recurrir al concepto de circuito equivalente, constituido por una hipotética combinación de elementos eléctricos pasivos que da un comportamiento similar al electrodo objeto de estudio.

El circuito equivalente de Randles explica bastante bien muchos de los procesos electroquímicos. En dicho circuito, la interfase electrodo-medio ambiente está representada por un condensador  $C_{dl}$ , el cual indica la doble capa eléctrica y la resistencia de transferencia de carga o impedancia electroquímica en paralelo  $R_{ct}$ , que indica la reacción electroquímica que tiene lugar sobre el electrodo. Finalmente  $R_e$  es la resistencia del electrólito o la de posibles películas sobre el electrodo. El diámetro de la semicircunferencia indica el valor de  $R_{ct}$  que es equivalente a la resistencia de polarización, de donde podemos obtener por la ecuación de Stern-Geary la velocidad de corrosión.

La otra técnica basada en la medición de potencial, con gran impulso en la actualidad, es la de ruido electroquímico; ella consiste en el registro sistemático de las oscilaciones de potencial y/o corriente y de la aparición de eventos de naturaleza estocástica o probabilística a lo largo del tiempo.

## Métodos de control

- a. Existen diferentes opciones para el control de la corrosión de estructuras embebidas en concreto (figura 5), que se basan en:
  - b. La selección de materiales mejores y más resistentes a la corrosión.
  - c. La existencia de una barrera física entre el metal y el ambiente o el concreto y el ambiente.
  - d. La modificación de las condiciones ambientales.
  - e. Una combinación de las anteriores.

Ninguna de las tres primeras ha sido efectiva en todos los casos por lo que muchas veces se ha adoptado la cuarta opción.

## Diseño y construcción del concreto

La primera y más elemental forma de evitar la corrosión está dada por el buen diseño y las prácticas de construcción adecuadas. El concreto en sí es una barrera física que protege al acero por su baja conductividad, por lo que el grosor de la capa de concreto puede reducir las condiciones de agresividad; lamentablemente muchas veces esto no es ni económica ni técnicamente factible. El uso de materiales tales como el acero pretensado en lugar de varillas convencionales es otra opción, pero existe preocupación por la posibilidad de que la corrosión cause una reducción en la sección transversal, con la consecuencia de falla del acero; además, esto conllevaría el riesgo de corrosión bajo tensión y corrosión (**ver**) fatiga en los casos en que las estructuras estuvieran sujetas a grandes tensiones o esfuerzos cíclicos. El uso de aditivos como acelerantes del curado que contengan cloruros, como el cloruro de



calcio, debe evitarse.

Otro método utilizado es aquel que aísla las fuentes externas de cloruros del concreto como son algunas membranas impermeables al agua y al ingreso de cloruros, prefabricadas o aplicadas en forma líquida. Las más sencillas de aplicar son las de aplicación líquida, aunque su (**ver**) de calidad las hace menos eficientes. Una opción es el uso de polímeros impregnados en los poros del concreto o bien aplicados como capas sobre el concreto, los cuales son casi impermeables, fuertes y durables. Es indispensable que el concreto esté seco durante su aplicación y a la vez hay que prevenir la evaporación del monómero además de una rápida polimerización. Los resultados en campo no han sido siempre satisfactorios. Como práctica de construcción extra se utilizan sobrecapas de cemento portland sobre el concreto reforzado nuevo, las cuales brindan protección extra a la penetración de los cloruros.

### Protección del acero de refuerzo

Para prevenir la corrosión del acero en el concreto se utilizan materiales más resistentes a la corrosión o se protege el acero convencional recubriéndolo para aislarlo del contacto con el oxígeno, la humedad o los cloruros, o modificando su potencial electroquímico. Los aceros patinables no son adecuados en el medio concreto, y los inoxidable se utilizan en casos especiales, pero ambas opciones resultan caras en la mayor parte de las aplicaciones comunes.

Los recubrimientos metálicos utilizados se dividen en nobles y de sacrificio. Estos últimos aprovechan el principio de la corrosión galvánica para proteger el acero. Los recubrimientos nobles, como son los de cobre o níquel, sólo protegen al acero siempre y cuando el recubrimiento no esté dañado ya que el acero es anódico respecto a estos materiales. De todos estos recubrimientos el galvanizado de zinc es el comúnmente más utilizado; sin embargo, aun en este caso los resultados no han sido del todo satisfactorios ya que retrasan la corrosión de las estructuras y la consecuente fractura del concreto, pero no la previenen.

Se han evaluado diferentes recubrimientos no metálicos, pero de éstos sólo se utilizan los epóxicos aplicados por fusión en caliente. Éstos se aplican a superficies perfectamente limpias, aislándolas de la humedad, el oxígeno y los cloruros. El uso de este método de control se ha ido extendiendo: su principal problema es el daño que sufre el recubrimiento durante el manejo y transportación del material recubierto.

También se han empleado químicos llamados inhibidores de la corrosión, mezclados en el concreto. Los principales son compuestos a base de cromatos, fosfatos, nitritos, etcétera. Algunos han dado resultados negativos ya que reducen las propiedades a la compresión del concreto, aunque previenen la corrosión del acero. El nitrito de calcio parece el inhibidor más adecuado en la actualidad.

La protección catódica parece un método viable para la protección del acero embebido en concreto, sin embargo, a la fecha se ha utilizado en estructuras existentes y no en nuevas construcciones. De las dos formas de protección catódica la más utilizada es la de corriente impresa, aunque la de ánodos de sacrificio ha dado buenos resultados en reparaciones realizadas a las estructuras de concreto. Se realizan en la actualidad estudios para estandarizar los criterios de protección.

### Conclusiones

Existen diversas opciones de control de la corrosión de las estructuras de concreto reforzado. En

estructuras existentes donde la contaminación por cloruros es muy alta, la mejor opción parece ser la protección catódica. En casos en que estos sistemas no pueden ser aplicados, las estructuras han sido reparadas utilizando materiales poliméricos o resinas acrílicas y epóxicas.

En el caso de estructuras nuevas, se han seleccionado diferentes alternativas: recubrimientos, protección catódica, inhibidores, materiales especiales tales como pretensados, etcétera. En estructuras marinas el empleo del agua de mar para la preparación del concreto es muy común, por lo que la utilización de inhibidores parece ser una solución viable.

## Bibliografía

ACI Comitte 201, "Durability of Concrete in Service", en *ACI Journal Proceedings*, vol. 59, núm. 12, 1962, pp.40-50.

Ávila , J., "Estudios diversos de corrosión electroquímica en refuerzos metálicos embebidos en mortero", en: 1er. Taller Internacional de Corrosión, Mérida, México, Conacyt-Cinvestav, 1992, p.127.

Gaona T.C., Tesis de maestría, UNAM, México, 1997.

Gaona, T.C., C.F. Almeraya *et. al*, "Protección catódica con ánodos de sacrificio empleando electrólitos sólidos", en: II Simposio Internacional de Electroquímica Aplicada y VIII Congreso Nacional de Electroquímica, Querétaro, México, 1993.

García, E. M., J:M: Malo y CH.J Uruchurtu, "Técnicas electroquímicas aplicadas al control y seguimiento de la corrosión", 1a. ed., México. IMICORR, 1990.

Kilareskki, W.P. "Corrosion Induced Deterioration of Reinforced concrete. An Overview 2", en *Materials Performance*, vol. 27, núm. 3, 1980.

F. Almeraya Calderón, C. Tiburcio Gaona y A. Martínez Villafañe, son investigadores del Centro de Estudios Avanzados de

## Nuevos productos y equipos

### **El Maniscopic con rotación total**

El MRT 1540 ofrece la polivalencia de un portaherramienta aunada a la potencia y la seguridad de los grandes Maniscopic, con un sistema de rotación continua de 360° para manipulación, levantamiento y elevación de personas. Tiene una capacidad nominal de elevación de 4,000 kg y una altura de elevación de 15 m. Sus cuatro ruedas motrices y directrices permiten tres modos de dirección (dos ruedas directrices delanteras, cuatro ruedas directrices y marcha lateral). Los estabilizadores tienen, además, mandos individuales o simultáneos.

Todas las funciones se ejecutan con mandos electroproporcionales que facilitan una mayor precisión de los movimientos. La transmisión hidrostática incluye un inversor de marcha electromagnético y una caja de dos velocidades con mando hidráulico. Cuando la máquina está parada, unos frenos negativos se añaden a los frenos de servicio (hidráulicos en los dos puentes).

### **Pasador de seguridad para puertas y ventanas corredizas**

Socona ha diseñado un producto innovador: el pasador de seguridad para puertas o ventanas corredizas. Se trata de un dispositivo patentado, no manipulable desde el exterior, que proporciona la mayor tranquilidad: ningún intruso puede penetrar en la casa. Sin embargo, no entorpece las entradas y salidas de los animalitos domésticos y los niños pequeños quedan protegidos de los peligros exteriores (balcón, alberca, etcétera), puesto que ven impedida su huida sigilosa hacia fuera.

Este pasador se coloca muy fácilmente sobre puertas o ventanas corredizas de aluminio, PVC o madera. Viene acompañado además con la tornillería reforzada y los esconde-tornillos. Su diseño es moderno, discreto y estético. Se fabrica en epoxy plateado, blanco, negro o bronce, lo cual le permite integrarse a cualquier tipo de decoración interior.

### **Máquina para ensaye a compresión**

Esta máquina cuenta con el espacio suficiente para realizar una gran variedad de ensayos de resistencia de materiales como concreto, mortero, corazones, azufre, block, tabique y otros como flexión de vigas y módulo de elasticidad, con la utilización de sus accesorios correspondientes.

Opera por medio de un cilindro hidráulico con sistema de regresión automática y se adapta a los requerimientos de trabajo en obra, ya que el sistema hidráulico se desmonta fácilmente para darle utilidad en el lugar deseado.

### **Sistemas de impermeabilización**

Garland ofrece una gama completa de productos y servicios para cumplir con la demanda y los

requerimientos de la variedad de estructuras.

### **Para impermeabilización, cuenta con:**

- Sistemas para aplicación en caliente de polímeros.
- Sistemas para aplicar con soplete.
- Recubrimientos de aplicación líquida.
- Sistemas para construir en sitio en frío y en caliente.
- R-MER LITEâ Sistemas de lámina con aislamiento.
- En cuanto a accesorios para sistemas de impermeabilización, dispone de:
- Selladores: una familia para cubrir todas las necesidades de sellado y adhesión.
- Accesorios para sistemas de impermeabilización.
- Recubrimientos especiales: una línea selecta de recubrimientos aislantes y pinturas especiales de alto rendimiento.

Para pisos, ofrece:

- Productos para la reparación de pisos epóxicos y de concreto.

### **Premiación de concurso en la UANL**

En la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León se llevó a cabo la ceremonia de entrega de premios a los alumnos que resultaron ganadores del concurso correspondiente al primer semestre de 1998, organizado, como es tradición, por la cátedra de Tecnología del Concreto y Laboratorio que dirige el doctor Raymundo Rivera Villarreal. El trabajo requerido a los participantes en la convocatoria fue la fabricación de cubos de mortero de alta resistencia. Concursaron 75 alumnos, divididos en 28 grupos de dos a tres personas.

El primer lugar lo obtuvo el equipo integrado por Humberto Ramírez Rosales, José Gerardo Fernández Lozano y Oracio Pérez Peña, y el segundo lugar correspondió al grupo que formaron Manuel Alejandro García García, Jair Alejandro Guerra Leal y Rogelio Eduardo Chávez Acosta.

Como es habitual, el IMCYC colaboró con la donación de un lote de libros editados por el Instituto para los ganadores del primer lugar, y con una suscripción gratuita por un año a la revista *Construcción y Tecnología* tanto para éstos como para los ganadores del segundo lugar.

Otra actividad de los alumnos de esta universidad fue la participación de la Sección Estudiantil FIC-UANL de la Sección Noreste de México del Instituto Americano del Concreto (ACI) en la Convención de Primavera de dicho Instituto, celebrada en la ciudad de Houston, Texas. Dentro de la Convención, el ACI organizó un concurso de marcos rígidos reforzados sometidos a cargas de impacto, en el que participaron estudiantes del nivel licenciatura de universidades de

Canadá, Estados Unidos y México. Nuestro país estuvo representado por seis equipos integrados por alumnos de la Sección Estudiantil FIC-UANL, dos de los cuales empataron el primer lugar. Arsenio González Lozano, Carlos Valdez Lira y Gerardo Montemayor Ahuja integraron uno de los equipos ganadores, y el otro estuvo formado por Carlos Garay Mendoza y Valdemar Leal García.

### **Costos en la conservación de aeropuertos**

Al ser entrevistado luego de su participación en la Reunión Nacional e Internacional de Analistas de Costos efectuada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Económica, el ingeniero Benjamín Granados Domínguez, quien es subdirector de Construcción y Conservación de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), se refirió a las características especiales que presentan las obras de conservación de aeropuertos como un dato importante que deben tomar en cuenta quienes se postulen para realizarlas.

Comentó que, por tratarse de instalaciones que están siempre en operación, los trabajos deben enfrentar limitaciones impuestas por el servicio. Puso como ejemplo los horarios, que condicionan la realización de la mayor parte de las tareas durante la noche, lo cual repercute como es lógico en los costos. Esto, dijo, debe considerarse en el momento de hacer un presupuesto, pues no es lo mismo calcular los costos de una obra en un espacio libre que en uno en operación. Un error de cálculo en este sentido podría traer muchos perjuicios tanto para el contratista como para ASA, explicó.

Se refirió también a los tipos de aeropuertos que existen en el país; mencionó los metropolitanos como son los de la ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, que pueden recibir aviones de cualquier tamaño provenientes de cualquier lugar del mundo; los de tipo regional, muy útiles en este nivel, receptores de naves alimentadoras con pasajeros que luego abordarán aviones de otro alcance; y los turísticos, muy importantes en cuanto a generación de divisas, que deben tener la capacidad suficiente para recibir naves de cabina ancha, y también las comodidades necesarias para atender a los visitantes que llegan al país. Es fundamental, expresó, que todos se mantengan en óptimas condiciones para dar un buen servicio.

En relación con esto último, hizo referencia a un programa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, conocido en el medio como Plan Nueva Imagen, que se está aplicando en varios aeropuertos situados en destinos turísticos importantes como son Cancún, Los Cabos, Puerto Vallarta, Zihuatanejo y Mazatlán, y también en Tijuana por ser una de las puertas de entrada más importantes del país.

## Sintiendo el concreto

### Una interesante muestra de la percepción del concreto en otras latitudes

Anna Krönlof

#### PRESENTACIÓN:

¿Cómo sería usado el concreto si fuera considerado hermoso y valioso?

¿Cuál es la sensación que da el concreto?

¿Duro o plástico, durable o temporal, inmaterial o concreto, caro o valioso, deprimente o agradable?

¿Cómo se ve realmente el concreto?

Es bien sabido que el concreto puede colarse en diferentes formas, y esta característica se ha aprovechado en el concreto arquitectónico y en grandes estructuras tales como puentes. Sin embargo, es frecuente que al acercarse uno a estas estructuras, parezcan frías, rechazantes. Esta sensación desagradable del concreto es particularmente evidente cuando nos acercamos a la estructura de un estacionamiento en época de viento y lluvia. Junto con los detalles burdos, la superficie es la razón principal de esta apariencia fea, desagradable y estresante. Sin embargo, el mismo material –roca mezclada y colada– ofrece muchas posibilidades para la creación de superficies. Por lo regular, estas posibilidades no son conocidas, y actualmente apenas están empezando los desarrollos en esa dirección. Debido a la corta historia del concreto, solamente un puñado de artistas, arquitectos y diseñadores han podido llegar a conocer mejor el material al tomarlo en sus propias manos. Las superficies de concreto generalmente se presentan tal cual, de manera bruta, o cubiertas por azulejos o pintura. En Finlandia, el uso del concreto coloreado (con pigmentos o agregados coloreados) empezó en los noventa, principalmente en el área de Ruoholahti en Helsinki.

Los argumentos para emplear el concreto son ahora el bajo costo y las buenas propiedades mecánicas. El desarrollo se ha enfocado en los problemas técnicos y económicos. El resultado lógico y bien merecido de este estrecho punto de vista es que la propiedad menos atractiva del concreto es su apariencia, y esto ha conducido a su pobre reputación en la opinión del público. En el sentido técnico, los materiales de cerámica están íntimamente relacionados con el concreto. Sin embargo, su desarrollo, durante miles de años, se ha enfocado sólo en la estética. Como resultado, las piezas de cerámica son apreciadas por su belleza, en cuanto arte y como utensilios de cocina.

Dos componentes determinan la apariencia

El concreto es un material compuesto que consta esencialmente de dos componentes: agregado y pasta de cemento. Este modelo con frecuencia se emplea para analizar sus

propiedades técnicas, pero es igualmente importante cuando se estudia su apariencia. su apariencia. El agregado retiene su color natural, y con frecuencia su forma. El agregado, debido a su alta resistencia y baja porosidad, puede ser considerado el componente duro y permanente. La pasta, que es fluida durante el mezclado y el colado, da al concreto su trabajabilidad. Su color puede alterarse con el color del cemento (gris/blanco) o con pigmentos. Otros factores que lo afectan son el mezclado, la vibración, el modo del colado, la temperatura, la humedad relativa, el viento, la edad y la manera en que se lo protege. Prácticamente cualquier cosa que se haga al concreto afectará su color. Todos estos factores son difíciles de controlar, de modo que la flexibilidad de la pasta no sólo ofrece posibilidades, sino que también da lugar a problemas relacionados con el control de la calidad. La pasta puede considerarse el componente suave, poroso, flexible.

Los dos principales componentes dan al concreto su carácter propio y lo colocan aparte de la piedra dura y del yeso moldeable; afectan la trabajabilidad de la mezcla plástica y la apariencia del producto endurecido. Esto impone límites especiales y ofrece posibilidades que quienes diseñan el concreto deben conocer y ser capaces de sentir. El concreto no puede imitar los materiales homogéneos formados por un solo componente. Siempre están presentes las áreas contrastadas, duras y suaves, porosas y densas.

### Conociendo el concreto

En 1995 se inició un proyecto técnico de investigación sobre la apariencia del concreto en el Centro de Investigaciones Técnicas de Finlandia (VTT). Como parte del mismo, se invitó a 15 arquitectos fineses, dos escultores y 11 estudiantes al laboratorio para crear superficies de concreto de acuerdo con sus ideas, y presentarlas a principios de 1997 en una exhibición. Las ideas se desarrollaron en el curso de experimentos y discusiones. A los estudiantes de arquitectura de estudio del concreto del profesor Jan Sölderlund también se les dio dos semanas de educación experimental en el laboratorio. Durante este tiempo, ellos prepararon cientos de mezclas probando agregados, pigmentos, y tratamientos de la superficie tanto tradicionales como novedosos.

Todos los estudiantes experimentaron con luces y sombras, controlando parcialmente efectos al azar, y todos estudiaron los efectos de la edad. Los arquitectos estaban interesados en el concreto, por un lado, como parte del medio ambiente y de la naturaleza, y por el otro, como el elemento duro, sólido, majestuoso, de un edificio.

### Diseñando la edad

En las superficies vaciadas en molde, solamente la pasta es visible. Ésta, con un grosor de sólo 0.05 mm, no es resistente al desgaste mecánico o químico. Si se permite que la lluvia caiga sobre la pasta, ésta sufre lixiviación o se deslava en dos décadas, exponiendo el agregado. Durante el proceso, la superficie es cada vez más dominada por el agregado. Si la pasta y el agregado armonizan bien, el efecto puede minimizarse.

El agua de lluvia y las impurezas siempre formarán canales, aun en superficies lisas, creando

la textura de una superficie de pasta porosa. Esta característica es típica del concreto y debe tomarse en cuenta en el diseño, ya sea aceptando la textura, controlándola, aplanándola, o quitándola en el curso del mantenimiento. El agua de lluvia puede ser distribuida sobre la textura de la superficie, o puede controlarse su curso con aleros, comisas y otros detalles.

Se puede tratar la superficie exterior colada de un componente de muchas maneras, mientras el concreto esté fresco y plástico. Esta posibilidad de dar forma o moldear la superficie es una de las cualidades típicas del concreto que rara vez se aprovecha. La razón de esto puede ser la necesidad de una cualidad uniforme, un requisito difícil de cumplir al tratar cada componente de manera separada. Es lamentable que esta posibilidad sea apenas explotada al crear superficies. Vale la pena considerar la aceptación de las variaciones intencionales.

Quitar la pasta de cemento durante el proceso de fabricación es un método para exponer el concreto de manera controlada. Actualmente, las técnicas que se utilizan con este fin son el sopleteado con arena, el lavado con ácido hidrociorhídrico, el pulido, el amartillado y el empleo de medios químicos con retardadores de superficie. Este último retrasa la hidratación de la pasta en la superficie de modo que la capa superficial puede deslavarse a diferentes profundidades controladas, dependiendo del tipo de retardador.

Virpi Kanto, escultor

El concreto es un material a prueba del tiempo; es duro, durable, y puede resguardar otros materiales tales como chips y porcelana, u objetos temporales como son las plumas de pájaros. Kanto usa también el acero, la piedra natural, con varias mezclas: "Estoy interesado en agregados pulidos como joyas naturales. El vidrio y la roca juntos, pueden crear un sentimiento agresivo. El trabajo con el concreto empieza desde los elementos básicos como son roca, cemento, agua y refuerzo. Es importante lo que uno sienta por el material".

Karl Järvinen, arquitecto

En viejas escaleras puede uno encontrar escalones de concreto hermosamente desgastados. Las superficies fueron acabadas con llana y recibieron su pátina en el curso del tiempo: el agua, la cera y el desgaste han moldeado la superficie de modo que puede sentirse la masa monolítica. En las partes más desgastadas, el agregado está expuesto, mientras que una suave pasta gris cubre la superficie a los lados de los escalones. Me gustaría encontrar nuevamente estas humildes superficies tan típicas del concreto.

Pekka Helin, arquitecto

El elemento moldeado en una superficie lisa: pasivo, sin tensión, sólo pesado. Pretendo crear el tacto, la textura del material y el carácter que pueda ser sentido. (La mezcla estaba compuesta de agregado gris ligero, cemento blanco, y pigmentos azules y negros. Al finalizar las superficies plásticas superiores se agregó color extra con un producto del tipo "agitado en seco".)

Kaisa Vepsäläinen y Liisa Heiskanen, arquitectos



En el muro, moldeado suavemente a mano, y lavado con agua.

En el piso, una roca con signos antiguos.

El tiempo desgasta suavemente, da lisura a lo que es áspero; conserva los recuerdos."

(Acabado con llana metálica y de madera. Técnica con retardador para las figuras.  
Composición mixta: cemento gris, pigmento rojo, agregado natural).

Juha Kronlöf y Pauliina Vihinen, arquitectos

Ondulando el concreto –

superficie suave, plástica.

– Abstracción, calma, monotonía.

Monumento de una gran fachada.

Una excitante nueva vida en el material,

inmaterial como el universo.

Reijo Jallinoja, arquitecto

Un muro vaciado en tela de fibra de vidrio con concreto aislante ligero.

Estructura simple: el mismo material a base de cemento, vaciado a través del muro. El producto superficial es más denso que el aislamiento.

Suavidad y ligereza de la estructura: los muros suaves pueden cambiarse y repararse.

Estética imprecisa: vida estructurada, y su arquitectura es un proceso continuo.

El tiempo y la historia de los ocupantes están reflejados en la superficie.

Pertti Kukkonen, escultor

El concreto de cobre se forma a partir de la unión del noble cobre y el concreto común. Cuando se llena de pátina, se vuelve azul y adquiere los tonos verdes del cobre.

Pia Ilonen y Minna Lukander, arquitectos

El carácter de la superficie resulta del pensamiento práctico y funcional y de la noción de espacio interior y exterior. La superficie lisa y ligera es para uso interior, al abrigo de la lluvia y de la luz reflejante. La superficie oscura es para uso exterior; absorbe la tibieza y alimenta la

vida en su superficie áspera; es tolerante con el tiempo y la suciedad, y es de esperar que también sea como un sustrato para el musgo. (Elemento ligero y gris, colado en una superficie moldeada y lisa. La mezcla estaba compuesta de cemento gris y agregado de grava. En el elemento negro, la mezcla plástica sobre la superficie superior fue acabada con una vara de madera. La muestra estaba compuesta de agregado negro, cemento gris y pigmento blanco.)

Kirsti Siven, arquitecto

Con frecuencia las cosas más simples son las más difíciles de lograr. En la vida real, las cosas inalcanzables solían ser superficies de concreto lisas, limpias, de un color gris seda, orillas agudas y juntas derechas, precisas.

Yo quiero tener superficies grises, lisas, para uso interior como son paredes de chimeneas, balaustradas, detalles efectivos –pero no para exteriores, expuestas a la lluvia.

Los bordes y las juntas están relacionados con problemas en el encuentro con elementos de la fachada. El problema no es la superficie, sino su zona interfacial con otras superficies. Se puede hacer cualquier cosa de concreto, pero nunca se logra lo que uno en realidad quiere. (Superficie gris, colada en molde. Superficie de concreto rojo, allanado, con un color agregado por medio de un producto del tipo "agitado en seco".)

Teemu Järvi, estudiante de arte

Puesto que he crecido en un área de viviendas de concreto, yo uso el concreto de una manera brutal. Hoy, esto me trae recuerdos personales que dan al material múltiples significados. El agrietamiento es un detalle o una característica típica del concreto. Por razones estructurales, se considera negativo. Sin embargo, cuando ocurre en una capa superficial separada, las grietas no debilitan la estructura. Un mayor agrietamiento y desgaste no destruyen la apariencia. El ancho de las grietas pueden controlarse y destacarse con una lechada pigmentada.

Harri Kokkonen, estudiante de arquitectura

La textura está compuesta de la tensión entre las diferentes superficies. Las formas constituyen, crean un relieve con un juego de luces y sombras. El carácter del concreto encuentra su expresión en el agregado grueso y en la pasta suave. Las acanaladuras horizontales en los planos más grandes de los elementos hacen que las juntas desaparezcan. La superficie es resistente a la intemperie y a la suciedad. (La mezcla estaba compuesta de agregado negro, cemento blanco y pigmento negro. El agregado se colocó tal cual con un retardador de superficie.)

Piritta Hannila y Marja Salonen, estudiantes de arquitectura

El objetivo era crear un concreto vivo y tibio que mantuviera su color cuando se expusiera a la intemperie. Durante la vibración se vaciaron en el molde dos mezclas pigmentadas de

color ligeramente diferente. Se escogió el agregado amarillo para asegurar el control de la edad. La superficie suave (no vaciada contra el molde) se acabó a mano y por vibración.

Johanna Keränen, estudiante de arquitectura

¿Cómo romper la suavidad con apariencia plástica de superficies elementales? ¿Cómo crear una textura tridimensional con apariencia de roca con métodos simples? Esparciendo un agente retardante, papel arrugado y aceitado, y algo de arena en la parte superior de una mezcla fresca de concreto blanco antes de la vibración.

Dos preguntas a la autora

*BFT*: ¿Qué es lo que la ha inspirado para dar un encanto al concreto y convertirlo en arte?

*Kronlöf*: El concreto es más que un material de construcción: es un medio plástico que puede convertirse en arte. Un material que hace visible la imaginación. La "Poesía del concreto" publicado por Sapine Theis-Krömer en *BFT* 6/1993, nos ha inspirado a muchos de nosotros a ver el material bajo una nueva luz.

*BFT*: Es fantástico ver cómo el concreto puede ser descubierto en su superficie.

*Kronlöf*: También para esto, nosotros nos inspiramos en *BFT*. y después lo hemos implementado en dos años junto con artistas y arquitectos. Debería realizarse un taller como éste en el nivel internacional- Tal vez *BFT* pueda sugerir esto.

Este artículo fue publicado en *BFT* en julio de 1997, y se reproduce con la autorización de