

notiocreto

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

N° 141

REGRESANDO LA VIDA A LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO:

Reforzamiento de
estructuras con
platinas de fibra
de carbono
postensadas

PATOLOGÍAS POR EROSIÓN COSTERA:

El muelle de
Puerto Colombia

EQUIPOS TECNOLÓGICOS INNOVADORES PARA DETECTAR PATOLOGÍAS:

Concepto de investigación
de la reacción álcali-sílice
usando microscopio
electrónico de barrido

TARIFA POSTAL REDUCIDA SERVICIOS POSTALES NACIONALES S.A. N° 2017-150, 4-72, VENCE DIC. 31 - 2017 - ISSN 0120-8489

UNA PUBLICACIÓN DE

Asocreto



COLOMBIA \$18.000

EDICIÓN ESPECIAL

Patología avanzada del concreto

EL MÁXIMO RENDIMIENTO Y EFICIENCIA
PARA TUS OBRAS AHORA VIENE EN SACO.
NUEVO CEMENTO
USO MAMPOSTERÍA TIPO S



Mayor facilidad en la preparación de morteros para mampostería de pega y revoque:

- Rinde más en aplicación.
- Mejor trabajabilidad de la mezcla.
- Mayor duración en estado fresco.

No apto para uso estructural.
Conócelo en www.argos.com.co

Argos. Luz Verde.





Sika, SU SOCIO ESTRATÉGICO EN REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS

Aportando tecnologías para el aumento de la vida útil de las estructuras de concreto, realizando reforzamientos con platinas de carbono postensadas,
Sistema Sika CarboStress.



gasNatural
fenosa



Estamos en Expoconstrucción y Expodiseño 2017

Conozca todos
los beneficios
que tenemos para
los profesionales
de la industria
del diseño y la
construcción.

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

**Visítenos en Corferias
en el stand 202 del pabellón 8.**

**Juntos podemos
transformar miles de
hogares con la energía
más limpia y económica
del mercado.**

Materiales de Construcción, Estructuras, Suelos y Pavimentos,
Patología y Durabilidad, Técnicas de Análisis, Metrología,
Prefabricados, Asesorías en Calidad, Capacitación

Laboratorio del Concreto



- Más de 20 años ejecutando ensayos
- Más de 150 clases de ensayos mediciones, pruebas y servicios
- Más de 300 clientes en Colombia y países de la región han confiado en nuestros servicios

+ de **30** ensayos
acreditados



ISO/IEC 17025:2005
12-LAB-043

Ingresa a la página www.onac.org.co para consultar las actividades cubiertas por la acreditación del ONAC



Ensayos para patología de estructuras de concreto
corrosión, ensayos químicos, reactividad potencial y otros.



Instrumentación para estructuras y pavimentos
de interés para supervisores, interventores, entidades de control y contratistas.



Georradar y escáner para estructuras y suelos
de interés para geotecnistas, geofísicos, industria petrolera y de conducción de aguas, patólogos, etc.



Entrenamiento avanzado de personal para laboratorio de materiales
de interés para laboratorios comerciales y de productores de materiales, contratistas, universidades y entidades públicas.



Disponibilidad para el montaje y ejecución de servicios internacionalmente
utilizando normas aceptadas por la OMC.



Ensayos químicos y métodos analíticos

Asesorías en ISO/IEC 17025

www.asocreto.co

Calle 79B # 51 - 45, Bogotá - Colombia
PBX: (+571) 610 0797

Correo electrónico: laboratorio@asocreto.org.co





Soluciones para Proyectos de Infraestructura

Tecnología BASF usada en megaproyectos del mundo disponible en Colombia.

Nuestras soluciones

Aditivos para Concreto

Sistemas MasterRoc

- Aditivos para concreto lanzado
- Sistemas de inyección
- Soluciones para TBM

Membrana lanzada de impermeabilización

- MasterSeal 345.

Encuentre más soluciones en:

www.master-builders-solutions.basf.com.co

Tel: +571 634 2099

Noticreto 141

MARZO - ABRIL DE 2017

NUESTRA PORTADA

Fisuras producidas por ciclos de hielo deshielo.
Foto: © PSR INDUSTRIAL FLOORING LTD.

DIRECTOR ASOCRETO

Manuel A. Lascarro M.

DEPARTAMENTO DE PUBLICACIONES

Omar Javier Silva Rico, Jefe de Publicaciones
Claudia Andrea Carreño Cordon, Ingeniera de Publicaciones

COLABORADORES

Carlos Arcila, Gina Crevello, Margareth Dugarte,
Andrés Guzmán, Paulo Helene, Francisco Holanda,
Luis Eduardo León, Alejandro López, Nicholas Myers,
Paul Noyce, Hernán Pimentel, Diego Rada, Jorge
Rendón, María Rios, Camilo Rios, Jorge Segura

DIRECTORA COMERCIAL Y SERVICIO AL CLIENTE

María Isabel Páez Vallejo

PRODUCCIÓN GRÁFICA

Martha E. Zua

DISEÑO

Andrés Sánchez Bustamante

CORRECCIÓN DE ESTILO

Leonidas Arango

PREPrensa

Javier David Tibocha

IMPRESIÓN

Panamericana Formas e Impresos S.A.

SUSCRIPCIONES

comercial@asocreto.org.co
servicioalcliente@asocreto.org.co

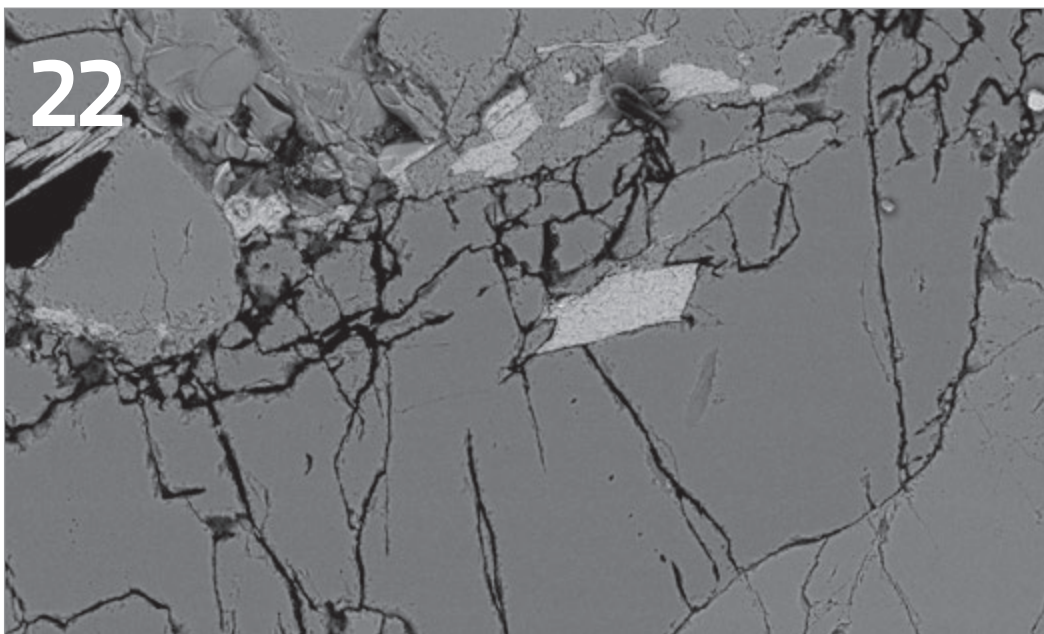
Teléfono: (571) 6180018 Ext. 102 - 106



Calle 103 # 15-80 Bogotá, Colombia
PBX (571) 6180018 / PBX (571) 7560990
noticreto@asocreto.org.co www.asocreto.co
Código Postal: 110111

22

CORTESÍA ARCHIVO PARTICULAR NICHOLAS MYERS - EPFL



36

CORTESÍA SIVA COLOMBIA S.A.



Publicación de la Asociación Colombiana de Productores de Concreto con carácter técnico e informativo para el sector de la construcción. Resolución Ministerio de Gobierno 00590 del 3 de marzo de 1987. Tarifa Postal Reducida Servicios Postales Nacionales S.A. N° 2017-150, 4-72, vence 31 de diciembre de 2017 - ISSN 0120-8489. Costo unitario de la revista \$18.000 Para información sobre suscripciones comuníquese directamente con la Asociación al PBX 6180018 o visite nuestra página web www.asocreto.org.co.

La información, conceptos u opiniones expresados en esta publicación, tanto en los artículos como en las pautas publicitarias, y el uso que se haga de ellos, no representan responsabilidad alguna para Asocreto o Noticreto, ni para el autor o su empresa. La información y conceptos deben ser utilizados por las personas interesadas bajo su criterio y responsabilidad. Sin embargo, se entiende que cualquier divergencia con lo publicado constituye un interés para Asocreto, por lo cual se agradecerá el envío de las correspondientes sugerencias. Asocreto no asume ningún tipo de responsabilidad por la información que divulguen los anunciantes a través de Noticreto, y por tanto cualquier reclamación relacionada con la calidad, idoneidad y seguridad de los bienes y servicios anunciados en la revista, deberán ser atendidos con cada productor o distribuidor, según corresponda, quedando por tanto Asocreto liberado de cualquier responsabilidad que pueda derivarse por causa y/o efecto de la información que se suministre en Noticreto.

La reproducción total o parcial de los artículos de la revista se podrá realizar únicamente con previa autorización escrita de la Asociación Colombiana de Productores de Concreto - ASOCRETO, citando fuentes, edición y fecha de publicación. Las imágenes tablas y esquemas suministrados por los autores de artículos han sido autorizados por ellos para ser incluidos en la revista.

La Asociación Colombiana de Productores de Concreto está conformada por: Apulo: Cemex Colombia • Armenia: Concretos Argos • Barrancabermeja: Concretos Argos • Barranquilla: Cemex Colombia, Concretos Argos • Bogotá: Cemex Colombia, Concretos Argos • Bucaramanga: Cemex Colombia, Concretos Argos • Cajicá: Concretos Argos • Cali: Cemex Colombia, Concretos Argos • Cartagena: Cemex Colombia, Concretos Argos • Cúcuta: Cemex Colombia • Fusagasugá: Concretos Argos • Ibagué: Cemex Colombia • Manizales: Concretos Argos • Marinilla: Concretos Argos • Medellín: Cemex Colombia, Concretos Argos • Montería: Concretos Argos • Pereira: Cemex Colombia, Concretos Argos • Popayán: Concretos Argos • Puerto Tejada: Concretos Argos • Sabanaeta: Concretos Argos • Santa Marta: Concretos Argos • Since: Concretos Argos • Soacha: Concretos Argos • Soledad: Concretos Argos • Tolú: Concretos Argos • Valledupar: Concretos Argos • Villavicencio: Cemex Colombia, Concretos Argos • Villeta: Cemex Colombia.

HISTORIA

- 6 Evaluando la historia: La corrosión del concreto en estructuras históricas

Gina Crevello, Paul Noyce

PATOLOGÍA

- 12 La importancia del diagnóstico estructural preliminar

Ing. Jorge Ignacio Segura Franco

- 16 Patologías por erosión costera: El Muelle de Puerto Colombia

Ing. Andrés Guzmán, Ing. Margareth Dugarte,
Ing. Diego Rada

TECNOLOGÍA

- 22 Equipos tecnológicos innovadores para detectar patologías: Concepto de investigación de la reacción álcali-sílice usando microscopio electrónico de barrido

Ing. Nicholas Myers Arrazola

PREFABRICADOS

- 28 Diez claves para evitar patologías en estructuras prefabricadas

Ing. Alejandro López Vidal

ARTE EN CONCRETO

- 34 Grand Central Tower

MATERIALES

- 36 Regresando la vida a las estructuras de concreto: Reforzamiento estructural con platinas de fibra de carbono postensadas

Ing. Jorge Rendón

LABORATORIO

- 42 Avances en ensayos para patología del concreto: Radar y láser vs. Iones y Corrosión

Laboratorio del Concreto, Asocreto

INFRAESTRUCTURA

- 48 Identificación y análisis de patologías en puentes de concreto en vías urbanas y rurales



54

CORTESÍA DURALAB SAS



64

ARCHIVO HOLANDA INGENIERIA

GERENCIA

- 54 Evaluación y rehabilitación: El fuego y las estructuras de concreto reforzado

Ing. Carlos Arcila López

SOSTENIBILIDAD

- 64 Riesgos patológicos del concreto en el continente americano

Ing. Francisco Gladston Holanda

REPORTAJE

- 60 "La patología del concreto, una disciplina compleja y desafiante":

Paulo Helene, Presidente de Honor de Alconpat International

NOVEDADES

- 70 EVENTOS

HUMOR

SOFÍA EN LA OBRA

Evaluando la historia:

La corrosión del concreto en estructuras históricas

Gina Crevello
Echem Consultants LLC, Nueva York

Paul Noyce
Axiom LLC, Nueva York



↑ Panteón en Roma, ejemplo de construcción antigua en concreto y patrimonio histórico que se ha preservado y actualmente sigue en pie. Construido entre los años 118 y 125 d. C.

WIKIPEDIA-ARPINGSTONE

Evaluar las condiciones de corrosión del concreto en estructuras históricas proporciona información valiosa sobre la condición actual de la estructura, los factores que contribuyen al daño por corrosión y también se puede pronosticar cuando la estructura podrá exhibir un mayor deterioro o pérdidas de material. Esta información es fundamental para el proceso de reparación, que es imprescindible para reducir al mínimo los daños. Cuando se trabaja con una estructura de concreto de alto valor histórico, el equipo investigador suele enfrentarse a restricciones que limitan la información que se puede recopilar. Este artículo describe los retos para preservar concreto histórico y presenta dos casos de estudio de evaluaciones de la condición de corrosión predictiva efectuadas para ayudar en el proceso de toma de decisiones.

Introducción

Una evaluación de la condición de corrosión de una estructura de concreto identifica las condiciones que afectan el comportamiento a largo plazo del desempeño del concreto dentro de su entorno y a lo largo del tiempo. El objetivo es crear un modelo útil para determinar cuándo la estructura va a alcanzar un estado crítico de deterioro y cuándo va a necesitar reparaciones. El análisis también permite a los propietarios planificar la extensión de la vida útil y la obsolescencia, si es necesario. En edificios históricos de concreto, la vida de diseño prevista y la vida de servicio deseada suelen estar separadas por muchos años. En los Estados Unidos es usual considerar que un edificio es histórico cuando tiene 50 años o más de antigüedad, y no es raro que sigan funcionando mucho más allá de los años de servicio que tenían previstos. El análisis detallado de la condición de corrosión es una línea importante en el proceso de evaluación del envejecimiento del concreto. La evaluación identifica los factores de deterioro, incluidos los daños físicos, químicos, estructurales, mecánicos y electroquímicos, para incorporar todo esto dentro de una matriz de riesgo.

Este enfoque holístico de la encuesta —es decir, que asume la totalidad del sistema atendiendo también a cada una de sus partes— es multifacético y tiene una visión a largo plazo en el desempeño de la estructura. El análisis final incluye el uso de modelos de durabilidad para comprender el comportamiento futuro, los marcos de tiempo proyectados para alcanzar estados límite y cuándo mostrará la estructura un incremento en su deterioro. Este enfoque metodológico permite a los propietarios tomar decisiones informadas acerca de la mejor opción de reparación para prolongar la vida de los edificios. Para ilustrar los resultados de recientes modelos de evaluación de la condición de corrosión y durabilidad utilizamos cuatro estudios de caso. Cada estructura evaluada tiene su propia relevancia en la historia de la arquitectura en los Estados Unidos, pues en cada una se utilizó un sistema diferente de construcción y fue diseñada por prominentes arquitectos americanos.

Preservar el concreto

Los retos particulares frente a edificios emblemáticos incluyen restricciones de referencia como reducir al máximo las intervenciones, preservar la construcción histórica, la reversibilidad y reemplazar con materiales del mismo tipo a los originales. Este principio de la intervención mínima es frecuente en toda la comunidad de conservación que está en desacuerdo con la industria general de reparación de concreto. Los profesionales de la industria enfrentan un desafío cuando tratan obras referentes de concreto ya que las reparaciones no siguen una filosofía de conservación.

El concreto arquitectónico en el movimiento moderno abarca desde estructuras individuales hasta ciudades planificadas. El diseño, el método de construcción, los materiales utilizados y los estándares de mano de obra empleados en la creación de una estructura de concreto variarán enormemente según su fecha de construcción. Todos estos factores afectarán la durabilidad de la estructura. Además, la ubicación y el clima juegan un papel importante en el deterioro y la posterior reparación. La naturaleza

efímera de la estructura y los vínculos invisibles entre el material, la fabricación, la integridad y la estructura tendrán que ser considerados en la reparación.

Los métodos actuales de “reparación tradicional” contrarrestan generalmente los estándares de conservación. Así, es demasiado frecuente considerar las estructuras de concreto “históricas” como poco importantes y desechables. Los requisitos para acometer intervenciones que pueden ser invasivas y para preservar la integridad de la estructura crean intrincados desafíos físicos y filosóficos. Deben tenerse en cuenta el equilibrio de la conservación, la autenticidad de la construcción original, el cumplimiento de los códigos y la minimización del deterioro. El objetivo final de una intervención debe ser preservar la estructura para las futuras generaciones y al mismo tiempo reducir el impacto sin comprometer la seguridad de los usuarios y la estabilidad de la estructura. Sin duda, el efecto más perjudicial en el concreto es la corrosión del acero de refuerzo. No se trata de preguntar si la estructura va a sufrir corrosión, sino cuándo va a corroerse.

Evaluaciones de la condición de corrosión

El proceso de evaluación de la corrosión para estructuras históricas y emblemáticas debe adoptar los principios establecidos en las guías de patrimonio colonial o de cualquier organismo oficial de conservación en el país respectivo. Aunque las prácticas estándar descritas por el ACI, por la Asociación para la Prevención de la Corrosión y por otras entidades suministran una base de referencia para las encuestas, no abordan la sensibilidad necesaria para evaluar el concreto histórico.

“El proceso de corrosión para las estructuras de concreto reforzadas con acero puede simplificarse en un proceso de dos etapas, la ‘fase de iniciación’ y la ‘fase de propagación’. Por definición, la fase de iniciación es el tiempo necesario para que las condiciones conduzcan a la corrosión y la fase de propagación es el período en que la corrosión se extiende hacia la armadura de acero y conduce finalmente a la formación de manchas de óxido, fisuración y desprendimiento del recubrimiento” (British Research Establishment, BRE). Una vez evaluada la estructura, el equipo investigador puede saber en cuál fase se encuentra la estructura y así elaborar un modelo de corrosión.

Determinando las condiciones del edificio antes de una pérdida significativa de material, el equipo de arquitectura e ingeniería (A/E)



↑ El proceso de evaluación de la corrosión para las estructuras de concreto reforzadas con acero puede simplificarse en un proceso de dos etapas, la ‘fase de iniciación’ y la ‘fase de propagación’.

FLICKR- SIMON BROWN

puede determinar la causa del problema, los mecanismos de la falla, el tiempo que transcurre hasta cuando se produzca la falla, y un enfoque proactivo de conservación frente a una reparación reactiva. Al abordar la estructura debe considerarse toda la patología, así como la historia de los materiales de construcción, la comprensión de los materiales de construcción de las estructuras particulares, el tipo de construcción, las condiciones actuales, y los mecanismos de deterioro

En una estructura histórica la recopilación de información puede tener limitaciones. Muchas veces se restringen la extracción de núcleos de concreto o la cantidad de penetraciones que es posible hacer al acero de refuerzo. Esto constituye un desafío complejo para determinar las condiciones actuales de la estructura. Por lo tanto, mientras el equipo es capaz de recopilar datos del sitio, los modelos de degradación permiten pronosticar cuándo deben hacerse las intervenciones. Antes de elegir una opción de reparación, las mejores prácticas dictaminan que deben analizarse todos los factores de deterioro y la condición actual.

Modelos de deterioro

Los modelos utilizados para determinar el desempeño del concreto se basan en los "Modelos de vida residual para la reparación de concreto" del BRE. A lo largo del proceso de evaluación se utilizaron la penetración de cloruro y la difusión de carbonatación cuando se aplicó a la estructura, y en todos los casos se utilizaron modelos de iniciación de fisuración. Se evaluó cada estructura con una matriz de riesgo personalizada basada en ciertos límites. Se analizaron críticamente los límites que producían la corrosión con base en la pérdida de las propiedades del material como punto crítico y primordial en el proceso de evaluación.

Modelos de difusión de carbonatación

Cuando la investigación indicó que la carbonatación aún no había alcanzado la profundidad del acero de refuerzo, se realizaron modelos de difusión de carbonatación. Los modelos se utilizaron para determinar el plazo en el que la carbonatación alcanzaría al acero y el concreto que estuvieran aún en buen estado. Como la carbonatación también aparece a lo largo de las fisuras, el modelo no era aplicable a los puntos en los que se presentaban fisuras.

Perfiles de cloruro y modelos de penetración de cloruro

Un modelo para predecir la entrada de cloruro al concreto, tiene como objetivo predecir el perfil de cloruro después de cierto tiempo de exposición, o por lo menos del contenido de cloruro a la profundidad del refuerzo. La salida tiende a ser comparada con un nivel límite de cloruro que es relevante para la corrosión del acero de refuerzo. El modelo asume los parámetros que mueven la iniciación de la corrosión a la propagación el acero. Las cuatro estructuras presentadas no muestran un riesgo evidente de ataque de cloruro en la superficie, pero permitieron al equipo determinar que estaban contaminadas. Los perfiles de cloruro se extrajeron de profundidades específicas dentro de los núcleos de concreto y se compararon con la profundidad del acero de refuerzo. Si los perfiles siguen patrones de difusión típicos, podría predecirse el plazo en que alcanzarán el límite de cloruro en el acero de refuerzo.

Modelos de iniciación de fisuración

Los modelos de iniciación de fisuras, o modelos de "tiempo hasta la fisuración", suponen que la corrosión se ha iniciado y la estructura se

ha empezado a deteriorar. Los modelos proporcionan un marco de tiempo para las fallas de microagrietamiento. Se utiliza la velocidad de corrosión real, después se genera la velocidad de pérdida de sección del acero y posteriormente el tiempo hasta la fisuración. El modelo supone una resistencia consistente y normal del concreto sin recubrimiento, vacíos, o relleno poroso o débil. Este modelo se ocupa únicamente de configurar el efecto de la fisuración relacionada con la corrosión en la estructura después de iniciada la corrosión.

Matriz de riesgo

La matriz de riesgo incluyó los resultados del potencial de semi-célula, la velocidad de corrosión, la resistividad eléctrica, la profundidad del recubrimiento, la profundidad de carbonatación y el porcentaje de cloruro por peso de cemento en relación con la profundidad del refuerzo. Los resultados de la semi-célula se abordaron en relación con la ASTM C876 y también se evaluaron las lecturas adyacentes. Las propiedades adicionales del material influyente determinado mediante un análisis de laboratorio dieron soporte a las condiciones del concreto. La categorización de los datos se correlacionó entre riesgos de corrosión altos, moderados, bajos y despreciables. La matriz proporciona una suma completa de todas las condiciones que ponen a la estructura en riesgo de deterioro. El objetivo general de la evaluación es determinar cómo se está desempeñando la estructura, cuáles son las principales influencias y modos de deterioro, cuál es la condición actual, cómo seguirá funcionando la estructura en base a estas condiciones y, finalmente, cuáles son las opciones disponibles de reparación.

New York Dock

En 1912 se comenzó la construcción de dos bodegas de concreto de 140,2 x 24,4 m, cada una de seis pisos de altura. Los edificios se construyeron junto con las instalaciones portuarias y una terminal ferroviaria. Las construcciones en el muelle tomaron casi un año debido a las condiciones del clima. Aunque estos dos edificios no están considerados como estructuras históricas, son modelos de construcción industrial en concreto, pues, están relativamente intactos y se asocian con la figura pionera del comercio por correo cuya firma apoyaba la arquitectura industrial de concreto. El cambio de uso al pasar de bodega abandonada a complejo de apartamentos de lujo de 72 unidades mixtas llevó a realizar una encuesta de condiciones antes de la reparación y del proyecto de reutilización adaptable.

Evaluación de las condiciones

Los edificios se construyeron hace 106 años y se mantuvieron en servicio durante la mayor parte de ese lapso de tiempo. El estudio de la corrosión se concentró en las losas de piso y cubierta para construir una piscina en la azotea, con la capacidad de carga para el cambio de uso y donde la falta de impermeabilización había acumulado humedad en las losas.

A la intemperie desde la década de 1990 y expuesta frente al mar, hacía mucho tiempo había comenzado la corrosión en la fachada del edificio. Mientras que el agua se había acumulado en las losas del piso y la fachada exterior tenía pérdidas visibles, la mayor parte de la estructura interna estaba en condiciones



↑ Render de remodelación actual del New York Dock de Brooklyn, el cual se ha hecho preservando el diseño y la importancia arquitectónica del edificio inicialmente construido en 1913

© AA STUDIO

apenas justas para ser un ejemplo tan antiguo de construcción en concreto. Aproximadamente el 5% del área superficial se analizó en profundidad para determinar la velocidad y el potencial de corrosión, y la resistividad. Los datos obtenidos en los puntos de ensayo seleccionados revelaron que el 40% del área estaba en alto riesgo de corrosión, basados en la ASTM C876, y que el 32% de los datos de velocidad de corrosión estaban en un rango medio (28%) y uno alto (5%).

El programa de evaluación indicó que la corrosión inducida por carbonatación era la causa de las condiciones de corrosión de la estructura. Todos los núcleos y los ensayos *in situ* indicaron que la penetración de la carbonatación superaba la profundidad del acero y estaba ocurriendo desde la base de las losas hacia arriba, y de arriba hacia abajo. Los cloruros se identificaron en todas las muestras de laboratorio ensayadas, a niveles muy bajos; indicativos de cloruros fundidos.

Los datos recogidos bajo principios holísticos sugirieron que toda la estructura tenía riesgo de corrosión, incluyendo áreas donde había poca saturación y baja actividad corrosiva. Todas las losas y la cubierta mostraban variedad de condiciones y tasas de corrosión. La malla de todas las losas ensayadas quedó dentro de la zona carbonatada del concreto. Por lo tanto, sería imperativo mantener seca la estructura en todo momento para disminuir el riesgo de corrosión.

Se encontró que la fachada del edificio estaba en las últimas etapas del proceso de deterioro por corrosión, por lo cual hubo que emprender



↑ New York Dock. Obsérvense las finas láminas de poliestireno resistentes a la intemperie, el agua estancada y la formación de crecimiento de plantas en losa saturada.

CORTESÍA AUTORES

reparaciones extensas, pues si el edificio se dejaba abandonado, el costo de la reparación aumentaría exponencialmente en 15 años. Los modelos de deterioro indicaron que el daño continuaría si no se realizaba reparación alguna a corto plazo. En las losas, elementos menos deteriorados, se encontró que tuvieron entre 10 y 15 años antes de que se produjeran los primeros daños significativos.

Las áreas más bajas de corrosión halladas estuvieron en el nivel de la cubierta, donde se instalaría la piscina. Se recomendó que esta condición de diseño no introdujera cloruros en el concreto existente, lo que aumentaría la matriz de riesgo. Sobre la base de la actividad de corrosión y del frente de carbonatación visto en la cubierta y en el sexto piso (que soportaría la piscina) se recomendó al equipo de diseño hacer esfuerzos por aislar el concreto existente de la base de la piscina y de los elementos portantes. No se consideró efectuar reparaciones electroquímicas dentro de la restauración total debido a la falta de continuidad entre las barras y la variación en la cubierta de concreto.

Museo Solomon R. Guggenheim

El Museo Solomon R. Guggenheim es, sin duda, la obra maestra arquitectónica más famosa diseñada por Frank Lloyd Wright. Es una encarnación de los logros filosóficos y de diseño de Wright "sus intentos de plasmar la plasticidad inherente de las formas orgánicas en la arquitectura". Entre los años de 1943 y 1945 se formuló un diseño inicial con base en helicoides vistos en la obra de Wright. Durante los nueve años siguientes el proyecto se estudió y se refinó; la construcción comenzó en 1956 y el edificio fue entregado en 1959, seis meses después de la muerte de Wright.

Dado que nunca se había construido una estructura de concreto curvada y lisa de tal complejidad, se enfrentaron retos durante todo el proceso de construcción. El edificio cuenta con una rampa espiral que da seis vueltas con pendiente aproximada de 3 %, rigidizada por mallas exteriores a intervalos de 30°, y una rotonda interior cubierta por una cúpula de cristal. En todas partes se utilizó concreto armado, con un agregado de peso liviano para la superestructura.

El concreto reforzado fue diseñado para impedir el agrietamiento de todo el concreto arquitectónico. Se omitieron las juntas de expansión para asegurar una superficie lisa. Se utilizaron tres tipos de mezcla: concreto ligero de pizarra expandible en la rampa y los pisos, concreto de piedra en las paredes interiores, y las paredes exteriores son muros de concreto lanzado de 12,7 cm de espesor, proyectado contra formaleas curvas de madera contrachapada.

Evaluación de condición

La evaluación de la condición de corrosión tuvo tres fases diferentes: una revisión de informes anteriores relacionados con la corrosión, una evaluación de la corrosión en dos niveles, y un ensayo de polarización para determinar la eficacia de la protección catódica de corriente impresa.

Antes del estudio de corrosión, se había realizado una evaluación exhaustiva de las condiciones de daño de la estructura. La fachada original (y las capas subsiguientes) que normalmente adornaban el exterior habían sido retiradas para hacer investiga-



↑ Museo Solomon R. Guggenheim actualmente.
WIKIMEDIA-JEAN-CHRISTOPHE BENOIST

ciones adicionales de los materiales, documentación y registro de condiciones. Se perforaron agujeros de prueba para verificar los detalles de la construcción, y las paredes interiores fueron despojadas de todas las superficies construidas.

La revisión de documentos, las pruebas *in situ* y la verificación visual de las condiciones revelaron que la carbonatación se había difundido entre 1 y 6 mm en la superficie del concreto en buen estado desde el exterior, y hasta 17 mm desde la cara interior de la pared de concreto lanzado. La corrosión se documentó a lo largo de las fisuras paralelas al acero de refuerzo, que se remonta a 1989, treinta años después de terminado el edificio. Los informes visuales hasta el 2006 confirmaron una actividad mínima de corrosión entre las fisuras y el acero de refuerzo.

Un análisis minucioso de semi-célula y mapeo de gradientes potenciales dio un apoyo visual de la actividad corrosiva. La evaluación de la corrosión indicó que el 4% de la superficie ensayada exhibía tasas superiores a 2,2 micras por año. Aunque esto se considera entre bajo y moderado para la mayoría de las estructuras, las tasas de 4 micras por año, combinadas con detalles específicos del sitio, indicaron un deterioro continuo en diez años. Este nivel de degradación es significativo teniendo en cuenta las exigencias del cliente para un edificio de uso continuo en un futuro indefinido.

En resumen, la campaña de restauración buscó aumentar el desempeño general de la fachada del edificio, mejorar la cobertura de los techos y protegerlo contra la intemperie, reforzar estructuralmente las paredes de la rotonda, reducir la humedad de las paredes exteriores, revestir el edificio entero y formarse una idea del desempeño a largo plazo de la estructura.

Como resultado, se instaló un sistema de monitoreo de corrosión a largo plazo para comprender mejor el desempeño de la estructura. Se produjeron fluctuaciones en la actividad, especialmente con cambios estacionales, y en tasas de moderadas a bajas. Se observó que la humedad dentro de las paredes de concreto lanzado variaba dramáticamente a lo largo del año, pero que, en general, disminuyó desde cuando se completó la restauración.

Conclusiones

Las evaluaciones de la corrosión del concreto en íconos históricos pueden tener factores desafiantes que se establecen antes de determinar los protocolos de la indagación. El concreto es muy económico y fácil de producir, las razones para retener todo el material posible durante la investigación y la posterior reparación deben guardar el equilibrio entre la seguridad y la comprensión de las condiciones de los materiales. Establecer el comportamiento de la corrosión puede ayudar a entender la condición, el deterioro y la degradación futura de una estructura. Es imprescindible conocer esa condición antes de tomar decisiones de reparación que pueden tener consecuencias prolongadas.

La comprensión de las condiciones y el desarrollo de modelos de degradación ayudaron, a su vez, a definir la urgencia y los niveles de intervención necesarios para las resatauraciones. Los análisis de corrosión y las recomendaciones posteriores mostraron al equipo no sólo opciones convencionales de reparación sino la evaluación de un tratamiento electroquímico para cada estructura. En todos los casos deben considerarse las intervenciones que retrasen la degradación del material histórico sin alterar el concreto existente, reduciendo así la pérdida del patrimonio cultural.

Referencias

- British Research Establishment (BRE), Client Report. Residual Life Models for Concrete Repair: Assessment of the Concrete Repair Process. October 2003.
- Broomfield, J. 1997. Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair. London: E&F N Spon.
- Brownstoner.com
- Celleni, J. 2009. Existing Conditions Assessment of the Pre-Cast Concrete Structures at Philip Johnson's Glass House. Summer 2009. Prepared for the National Trust of Historic Preservation and the Philip Johnson Glass House.
- Cohen, G. 1958. Frank Lloyd Wright's Guggenheim Museum: He Adds New Dimensions to Use of Poured Concrete in Building Construction. The Aberdeen Group.
- Friedman, D. 2010. Historic Building Construction, 2nd Edition. New York: Norton.
- Guggenheim.com
- Luping, S. L. Nilsson, and P. Basheer. 2012. Resistance of Concrete to Chloride Ingress. London: E&F Spon.
- Macdonald, S (ed). 2003. Concrete Building Pathology. Oxford: Blackwell Science.
- U.S. Department of the Interior and the National Park Service. National Register for Historic Places.
- <http://www.norcure.com/reportsedmonton.htm>
- The Portland Cement Association. 1922. Concrete Work in Cold Weather. Trade Literature PCA.
- Revie, W, (ed.). 2011. Uhlig's Corrosion Handbook, Third Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Roth, L. 1979. A Precise History of American Architecture. New York: Harper and Row Publishers.
- WASA Architect, Engineers, and Planners. Historic Preservation Approach and Project Guidelines: The Solomon R. Guggenheim Museum. November 8, 2005



Construyendo un mejor futuro



Plaza de la Unidad Iberoamericana, Ciudad de Panamá

SOLUCIONES INTEGRALES PARA CONSTRUIR PROGRESO



Gracias a la tecnología y calidad de nuestro portafolio de soluciones integrales, cada día se construyen proyectos que impulsan el desarrollo y progreso del país. Obras únicas con el respaldo inigualable de soluciones CEMEX.

La importancia del diagnóstico estructural preliminar

Ing. Jorge Ignacio Segura Franco
Consultor, Colombia



↑ A partir de las diferentes observaciones que se ejecuten, de todos los daños que presenta una estructura, puede formularse un diagnóstico de las patologías y daños detectados.

FLICKR- GUILHEM VELLUT

Por considerarlo una herramienta importante

para evaluar el funcionamiento de las edificaciones, y también de la posibilidad de lograr un trabajo correcto cuando en la etapa de construcción se ha encontrado alguna falla en la calidad de los materiales o de la ejecución de la estructura, nos referiremos al diagnóstico estructural con un alcance también informativo, como corresponde a su carácter de preliminar.

1. Sistemas estructurales

Presentamos un breve resumen de los posibles sistemas estructurales que demandan un diagnóstico estructural:

- a. Sistemas de concreto reforzado:
 - Pórticos
 - Muros
 - Dual
 - Prefabricado
- b. Sistemas de mampostería:
 - Mampostería confinada
 - Mampostería parcialmente reforzada
 - Mampostería reforzada
 - Mampostería no reforzada
- c. Sistema de estructura metálica
- d. Sistema de estructura de madera
- e. Combinación de sistemas

En este artículo nos referiremos a sistemas de estructura de concreto reforzado y sistemas de mampostería estructural.

2. Diagnóstico

El diagnóstico con carácter preliminar debe comprender la determinación los siguientes temas con un alcance inicial:

- a. Regularidad de la estructura
- b. Rigidez de la estructura
- c. Posible estabilidad ante cargas horizontales
- d. Compatibilidad entre la estructura y su cimentación
- e. Sistema estructural apropiado
- f. Calidad de los materiales

3. Elementos no estructurales

Hay ocasiones en que el diagnóstico debe efectuarse sobre elementos no estructurales afectados por el comportamiento de la estructura, entre ellos elementos arquitectónicos y decorativos, muros de fachada, muros interiores, cielos rasos, enchapados de fachada, antepechos, vidrios y también la afectación sobre instalaciones hidráulicas, eléctricas, mecánicas y de gas. Este análisis contribuye al reforzamiento de los resultados que se buscan.

4. Estados límites

Para tener en cuenta la seguridad en el uso de la estructura ya construida o de su uso o trabajo cuando se han observado fallas durante la construcción, el diagnóstico debe fijar preliminarmente la clasificación de la estructura y sus elementos estructurales y no estructurales dentro de los siguientes estados límites:

- a. Estado límite de falla: corresponde al colapso parcial o total de una estructura con características como la pérdida de equilibrio total o parcial, la rotura del elemento o de los elementos principales o básicos que conduzcan al colapso, la falla progresiva por diferentes motivos, la formación de mecanismos plásticos y la fatiga del material.

➔ Es importante considerar factores importantes dentro de los cuales se encuentra la calidad de los materiales durante el diagnóstico preliminar.

FLICKR - NRC CHAIRMAN



- b. Estado límite de servicio: corresponde a la interrupción del uso de la estructura, sin que conlleve al colapso, por factores como deflexiones excesivas, fisuras o grietas importantes, o vibraciones excesivas.
- c. Estados límites especiales: corresponden a daños o fallas debidos a condiciones especiales como movimientos sísmicos anormales, intervención del fuego, explosiones, colisiones de diverso tipo, corrosión, deterioro por factores no contemplados en el diseño.

↓ Los diferentes sistemas de concreto reforzado demandan un diagnóstico estructural.

Edificio de Oficinas Calle Los Militares, Las Condes, Región Metropolitana, Chile.

© NICO SAIEH

Para el diagnóstico por estados límites se procede teniendo en cuenta los posibles modos de falla y determinando los factores de seguridad posibles para cada estado límite.



5. Patología asociada a la cimentación

Corresponde a las características del suelo que inciden sobre la resistencia de los materiales estructurales tales como la composición de los suelos, los espesores de las diferentes capas, el contenido de materia orgánica, la consolidación, el contenido de aguas subterráneas, la amenaza de remoción de masa, el volcamiento, la licuación, la erosión, etc. Este tema cobra especial importancia ya que –si las posibles fallas se pueden evidenciar con la presencia de elementos que las presentan, como las fisuraciones o las deformaciones, además de los resultados de los ensayos de los materiales utilizados– es de rigor considerar estas patologías y su asociación con la cimentación.

6. Patologías asociadas a las estructuras de concreto y la mampostería estructural

Consideramos los siguientes factores especialmente determinantes de las patologías asociadas a las estructuras de concreto y la mampostería estructural:

- Diseño: determinar la posible incidencia del diseño en la patología dependiendo del agrietamiento para determinar su origen por flexión, cortante o torsión.
- Materiales: determinar los defectos en los materiales y su posible aporte con respecto al diseño. En este punto es de especial importancia la logística en la determinación de estas fallas y, por consiguiente, el rigor para determinar y ejecutar los procesos de obtención y análisis de acuerdo con la normativa que los rige y al personal apropiado y certificado para estas labores.
- Construcción: determinar la incidencia que presenten patologías constructivas en los elementos estructurales y su dependencia para las posibles fallas por flexión, cortante o torsión.



↑ El tamaño de las fisuras y el tipo de las mismas pueden determinar a que ha sido debido el daño de la estructura.

FLICKR- BRIDGET COILA



↑ Patología asociada a la cimentación.
FLICKR- MATT SEPPINGS

Conclusiones

Con la determinación -de manera preliminar- de las condiciones antes mencionadas, es posible profundizar en su estudio partiendo de la probabilidad de su presentación para establecer el estado límite de la estructura o de sus elementos estructurales o no estructurales, y considerar su posible vulnerabilidad y reforzamiento en el caso en que sea posible.

Una falla en esta determinación preliminar puede ocasionar daños mayores a la estructura y aumentar los costos necesarios para lograr un funcionamiento apropiado.

Teniendo en cuenta que el tiempo es básico en la toma de decisiones, un diagnóstico preliminar apropiado puede disminuir costos y duraciones en el caso de una obra de reforzamiento optimizando la duración de las labores cuando la estructura está en uso.

Finalmente, podemos decir que este diagnóstico preliminar es la base de las decisiones finales en la determinación de los métodos y procesos presentes en la solución de estas patologías que, adoptadas en el orden apropiado de magnitud y necesidad, le permitirán al consultor y a los usuarios proceder en consecuencia.

Referencias

- Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Guía de Patologías Constructivas, Estructurales y No Estructurales, 3ª. ed., Bogotá 2011.
- Segura Franco, Jorge Ignacio, Estructuras de Concreto I, 7ª. ed., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2011.

TITÁN

INDUSTRIALIZAMOS EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN,
DANDO VIDA AL CONCRETO A TRAVÉS DE INGENIERÍA,
DISEÑO, FORMA, TEXTURA Y COLOR.



AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO BOGOTÁ D.C.



PARQUEADERO CORFERIAS BOGOTÁ D.C.



UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO- FACULTAD DE ARTES BOGOTÁ D.C.



CENTRO COMERCIAL COLINA BOGOTÁ D.C.

WWW.TITANCEMENTO.COM

EMAIL: VENTAS@TITANCEMENTO.COM

Bogotá (1) 3353550

Autopista Medellín entrada 2,4 km al Occidente del río Bogotá

**OFICINAS Y PLANTAS EN
BOGOTÁ, BARRANQUILLA, MEDELLÍN, PANAMÁ Y PERÚ**

Patologías por erosión costera: El muelle de Puerto Colombia



↑ Muelle de Puerto Colombia, en el Departamento del Atlántico.
WIKIMEDIA- JAVIERCELIA¹

Ing. Andrés Guzmán, MsC.
Profesor, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental,
Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia.

Ing. Margareth Dugarte, Ph.D.,
Profesor, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental,
Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia

Ing. Diego Rada,
Ingeniero Civil. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil,
Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia

Introducción

El muelle de Puerto Colombia, en el Departamento del Atlántico, es un monumento histórico declarado como Bien de Interés Cultural Nacional (BICN) mediante la resolución 0799 de 1998¹. Es, por esta razón, una estructura que reviste una gran importancia por su valor emblemático y comercial. Su construcción estuvo bajo la dirección del ingeniero cubano-norteamericano Francisco Javier Cisneros (1836-1898)² y fue inaugurado en 1888. En su momento la obra consideró tres etapas específicas: obras de madera, de acero y luego un revestimiento general en concreto. Se concibió como una estructura temporal mientras se terminaban las obras de Bocas de Ceniza, momento en el cual se abandonó el uso del viejo puerto. Las inversiones de mantenimiento de la estructura cesaron en la década de 1940¹.

Es importante destacar que este tipo de desarrollos portuarios se presentan puesto que Colombia es un país que cuenta con una posición estratégica al tener amplias costas sobre los océanos Atlántico y Pacífico, por lo cual tiene alto potencial de crecimiento en infraestructura costera y portuaria con alta proyección, dados los recientes tratados de libre comercio, la proyección y construcción de infraestructura portuaria sobre la costa colombiana, y más importante aún, sobre la margen del río Magdalena. Pero ante todo esto, surge la inquietud de si los diseños de estas estructuras incluyen análisis y pronósticos de durabilidad a largo plazo, considerando que pocas veces se toma en cuenta la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado en la construcción de infraestructura. A pesar que existen varios mecanismos que contribuyen a la falla de las estructuras en concreto reforzado, la corrosión del acero de refuerzo es, sin duda, la más crítica y una de las mayores preocupaciones. Sin embargo, este fenómeno sigue siendo ampliamente ignorado.

Los problemas actuales de corrosión asociados con el deterioro de la infraestructura en concreto reforzado en zonas costeras, puertos o ciudades cercanas al mar son producto, principalmente, de su interacción con el ambiente, sufriendo en la mayoría de los casos, un deterioro acelerado; esto sucede principalmente por la corrosión del acero de refuerzo ante el ataque de cloruros. Una segunda causa de la corrosión del acero de refuerzo, no menos importante, es la carbonatación del concreto causada por la reacción con el CO_2 de la atmósfera. El primer caso ocurre por el ingreso del ion cloro en el concreto que, dependiendo de la red de poros asociada, puede ser rápido o lento, hasta cuando esos cloruros sobrepasan el recubrimiento, llegan al acero y se acumulan hasta superar un valor límite conocido como umbral de cloruros. Superado este umbral, el acero pierde su protección y empieza la corrosión. El segundo fenómeno, la carbonatación, ocurre por la interacción de los componentes del cemento con el CO_2 presente en el ambiente, que genera carbonato de calcio, responsable de disminuir la alcalinidad del concreto. Esta pérdida de pH es la causa de la corrosión del acero de refuerzo en ambientes tropicales donde la humedad relativa y la porosidad del concreto indicarán la tasa de deterioro³. Es por ello que resulta necesario analizar el impacto de la corrosión en la infraestructura para poder hacer pronósticos de los riesgos asociados a los diferentes agentes de deterioro presentes (cloruros, carbonatación, sulfatos, entre otros), así como estimar el tiempo óptimo para realizar las reparaciones pertinentes que prolonguen su vida útil y emplear medidas de mitigación necesarias cuando se proyecta la construcción de nuevos proyectos de infraestructura en el país.

El deterioro de la infraestructura existente en concreto abarca estructuras como: muelles, puentes, tú-

neles, edificios residenciales, conducción por tuberías, puertos, canales, aeropuertos y ferrocarriles, entre otros. La dificultad aumenta a medida que se incrementa el número de estructuras afectadas y el problema se vuelve más serio, dado que estas estructuras quedan inservibles en el tiempo. Es preocupante que la causa del problema es no haber tenido en cuenta la durabilidad de las construcciones desde la concepción del diseño.

Evaluación de la condición de estructuras de concreto

La aparición de daños en las estructuras de concreto reforzado es un problema cada vez más común y a la vez complejo, pues requiere establecer las causas principales, los procesos de deterioro de los materiales (concreto, acero), las cargas o sollicitaciones, las condiciones ambientales, los materiales, las acciones de prevención y las técnicas de reparación en la historia de la estructura. Dependiendo de los tipos de daños detectados en las estructuras es posible seleccionar las alternativas de intervención más adecuadas.

La degradación inducida de carácter físico corresponde a factores como cargas de congelamiento y deshielo (en climas no tropicales), cambios volumétricos no uniformes, gradientes de temperatura, abrasión, erosión y cavitación; la de naturaleza química, la carbonatación, la corrosión del acero de refuerzo, ataques por sulfatos y ácidos, o reacciones álcali-agregados⁴. Otros aspectos patológicos en estructuras de concreto se asocian a diferentes condiciones relacionadas con las fuentes del ataque: fuego y sobrecarga estática o dinámica (impacto y sismos). Los estudios de patología pretenden contar con herramientas o recomendaciones indispensables para rehabilitar las estructuras y prevenir daños en el futuro⁵.

A continuación se describen las actividades requeridas en un trabajo de patología y su planificación, enfocándolas hacia un plan de trabajo que propone y especifica el desarrollo de ciertas pruebas de laboratorio y su alcance más allá de las normativas existentes y haciendo énfasis en la determinación de parámetros de durabilidad asociados con la vida útil de las estructuras para garantizar la efectividad de las reparaciones.

Para trabajos de este tipo se recomiendan generalmente dos etapas principales: la primera se basa en una evaluación visual rápida que incluye a menudo muestreo limitado en las zonas poco deterioradas y selección de las zonas críticas para desarrollar sondeos y pruebas con más detalle; la segunda etapa consiste en un diagnóstico minucioso basado en la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos.

Las técnicas no destructivas son más utilizadas cada día, no solo para evaluar la resistencia del concreto, sino también para detectar grietas y determinar el deterioro asociado a los fenómenos de corrosión de las

↓ Barandas del muelle de Puerto Colombia en avanzado deterioro por degradación ambiental (erosión).
CORTESÍA UNIVERSIDAD DEL NORTE



armaduras. Por otra parte, está aumentando el interés por las técnicas capaces de evaluar la permeabilidad del concreto debido a la importancia que tiene este factor en la evaluación de la durabilidad de las estructuras y predicción de su vida útil.

La evaluación de la condición de estructuras de concreto comprende metodologías como técnicas de ensayos no destructivos, técnicas de ensayos de materiales de ingeniería y una adecuada selección de muestras⁶. Las estrategias de evaluación de la condición de estructuras, reparación, rehabilitación o mantenimiento de estructuras de concreto se rigen por normativas internacionales como la EN 1504⁷. Las estrategias incluyen una evaluación general de la estructura, selección de opciones, principios y métodos para protección y reparación y finalmente, mantenimiento de la estructura. Un listado más detallado de las estrategias incluyen: evaluación de la condición estructural, preparación de superficies, restauración del concreto, reforzamiento, protección de las superficies, inyección de fisuras, protección ante la corrosión y mantenimiento general⁸.

Por otra parte, existen métodos de mitigación ampliamente reportados en la literatura, que ofrecen una solución para prolongar la vida útil de las estructuras de concreto reforzado, bien sea controlando la calidad del concreto o del acero de refuerzo, o bien modificando el potencial electroquímico del acero y recubriendo el concreto, entre otros.

Complementariamente, en ambientes marino-costeros, los procesos de tipo mecánico y físico-químicos que inducen a la degradación del concreto reforzado amenazan la seguridad estructural que —cuando no se realizan evaluaciones periódicas a lo largo de la vida útil de la estructura— incrementan los costos de posteriores mantenimientos y reparaciones. Los tipos de datos que se pueden recoger en la evaluación de una estructura portuaria comprenden: estado actual del material estructural (p.ej. concreto y acero de refuerzo), evaluación del daño (p.ej. fisuras, cambios de coloración, pérdidas de recubrimiento) y factores ambientales (p.ej. cloruros, sulfatos en el agua marina, meteorización, microorganismos asociados con la oxidación del azufre). Particularmente, los factores ambientales tienen una gran influencia en los mecanismos de deterioro y en la forma de realización de ensayos no-destructivos (NDT, del inglés nondestructive techniques)⁹ antes descritos.

Intervención

El muelle de Puerto Colombia fue concebido hace más de cien años para operaciones portuarias, y después de su apogeo, cambió su actividad principal a ser una atracción netamente turística que explota esta memoria de epicentro comercial. Actualmente encuentra clausurado (desde el año 2015) por el peligro que representa transitar sobre el, debido al estado actual de la estructu-

ra de soporte y su tablero principal. Presenta serios daños estructurales, como desaparición parcial y total del acero de refuerzo, desaparición de la pasta cementante y pérdida parcial o total de elementos estructurales. Hay una orden gubernamental para contratar la reconstrucción de 200 m de muelle (de los 1.249 m originales). En el pasado se habían planteado alternativas de recuperación, pero ninguna de ellas se había acercado tanto a una solución definitiva como la que actualmente se tiene concebida. Una de las razones por las cuales no se ha iniciado el proceso licitatorio de contratación, radica en que solo hasta el año pasado se iniciaron los procesos de construcción de obras complementarias de estabilización a través de enrocados con una longitud de 150 m paralelos al trazado del muelle¹. Estas obras nacieron de un estudio estructural y costero realizado en el año 2012 que recomendó estas obras de protección y mejoramiento.

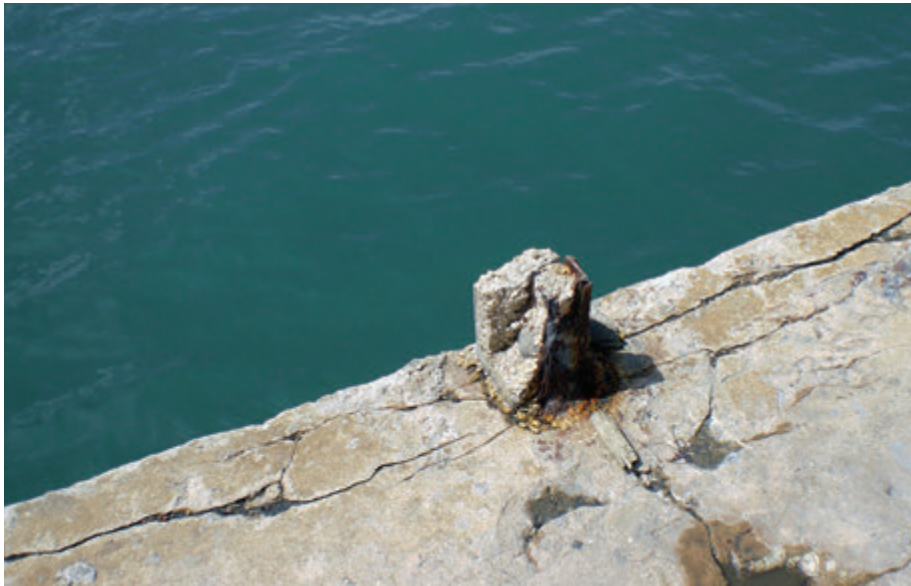
La obra consistirá en la construcción de una réplica de la estructura existente cuando se encontraba en óptimas condiciones. Algunas diferencias que tendrá el nuevo muelle será la presencia de dilataciones y garantizar así un mejor comportamiento estructural y reducir así mismo la aparición de fisuraciones por impacto. El uso del nuevo muelle será netamente turístico y ya no un atracadero de buques; por lo tanto, las condiciones de carga serán menores. Otra característica será la cimentación independiente del muelle actual, a pesar de que la estructura de pasarela nueva estará en la misma posición de la pasarela de 1888. Las nuevas cimentaciones estarán desfasadas de las existentes de forma



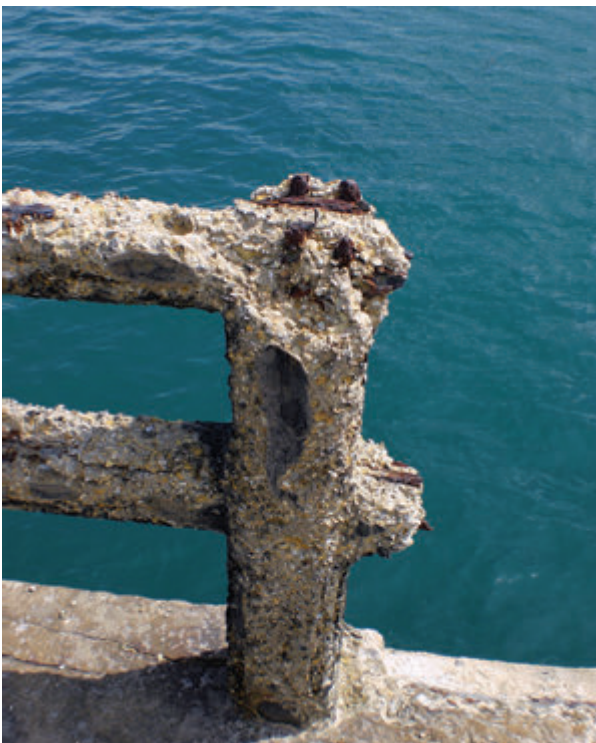
↑ Vestigio de pasada vía férrea.
CORTESÍA UNIVERSIDAD DEL NORTE



↑ Casilla en el extremo final del muelle¹⁰.
CORTESÍA UNIVERSIDAD DEL NORTE



↑ Base de barandas.
CORTESÍA UNIVERSIDAD DEL NORTE



↑ Baranda en proceso avanzada de deterioro.
CORTESÍA UNIVERSIDAD DEL NORTE

↑ Pérdida de recubrimiento
y exposición de barras de
refuerzo.
CORTESÍA UNIVERSIDAD DEL NORTE



↑ Exposición directa de barras de refuerzo en barandas por falta de recubrimiento y por degradación ambiental. CORTESÍA UNIVERSIDAD DEL NORTE

lineal al muelle y serán llevadas a cabo a través de pilotes con profundidades de hasta 20 m. El proyecto también consideró el nuevo nivel del mar que a través de los años y debido al calentamiento global, ha aumentado alrededor de 0,30 m. El proceso de construcción contemplará las siguientes etapas: demolición de la estructura existente, construcción de pilotes y, finalmente, la estructura principal de pasarela o muelle desde la playa hasta el mar¹⁰.

Las nuevas obras de concreto requieren tener en cuenta las características de los materiales con los cuales se constituyen y así extender su vida útil. La norma ACI 201¹¹, Guía para concreto durable, señala tanto las especificaciones como las acciones ya citadas que afectan la durabilidad (exposición a agentes químicos agresivos, abrasión, corrosión de los metales embebidos dentro del concreto, reacciones químicas de los agregados –álcali- sílice y álcali-carbonato) y las recomendaciones para reparar el concreto. En Colombia se cuenta con la adaptación correspondiente en el reglamento colombiano de construcciones sismo-resistentes, NSR-10¹², en su capítulo C.4, que requiere de un detalle mayor aún y de especificidad para el entorno nacional debido a la naturaleza propia de los agentes presentes en el ambiente y en nuestras obras.

En épocas recientes, el muelle de Puerto Colombia se ha deteriorado hasta el punto de tener hundimientos de tramos cortos y largos de hasta 200 m, como el que ocurrió el 7 de marzo de 2009. Además de la falta de mantenimiento y de los efectos de la erosión costera, de la acción del viento sobre la estructura (de 65 a 75 km/h) y del fuerte oleaje (ola máxima de 3 m), el derrumbe de estos tramos se atribuye a esfuerzos naturales que toman mayor relevancia para una zona de espacio abierta o expuesta^{13, 14}. El tablero principal del tramo inicial del muelle, que todavía permanece en pie, ha presentado deflexiones debido a la degradación de la estructura de soporte.

Conclusiones

Las estructuras marítimas portuarias en concreto reforzado concentran un conjunto de factores que incrementan su degradación en el tiempo debido a ataques físicos (mecánicos), químicos (sulfatos) y biológicos (biodeterioro). Es necesario evaluar las condiciones del sitio para definir una adecuada selección de materiales, secciones e incluso posicionamiento de las estructuras para prolongar su vida útil. No se debe olvidar que la erosión costera en estructuras de concreto tiene un fuerte componente del régimen de oleaje, alturas de ola y caracterización físico-química del agua en cada medio. Todo diseño estructural de obras costeras requiere del acompañamiento de un experto en el área de ingeniería costera que informe las condiciones meteorológicas y costeras que permitan conocer las magnitudes y características de los forzantes sobre las obras.

Dentro de las acciones preventivas que se deben tomar al emprender obras marítimas de este tipo, debe evitarse la aplicación de agregados no reactivos y de cementos de bajo álcalis, considerarse el uso de materiales cementantes suplementarios como escorias de alto horno o cenizas volantes, humo de sílice o puzolanas naturales (certificando que no sean reactivas en cuanto a la asociación álcalis-sílice). Deben formularse concretos de baja permeabilidad y determinar a priori parámetros de durabilidad como el coeficiente de difusión de cloruros, y así mismo, controlar todo proceso de corrosión del acero de refuerzo.

Referencias

1. El Heraldo, Barranquilla, "Así será el nuevo muelle de Puerto de Colombia," El Heraldo, 29-May-2016. <http://www.elheraldo.co/local/asi-sera-el-nuevo-muelle-de-puerto-de-colombia-263462>.
2. A. Mayor Mora, "Centenario de un pionero del desarrollo El ingeniero Francisco Javier Cisneros 1836 - 1898 | banrepcultural.org," Banco de la República, 01-Jun-1998. <http://www.banrepcultural.org/node/124744>.
3. M. Erick and A. A. Sagües, "Carbonation-induced corrosion in blended-cement concrete mix designs for highway structure," Corros. Pap., vol. 636.
4. V. Penttala, "Causes and mechanisms of deterioration in reinforced concrete," in Failure, Distress and Repair of Concrete Structures, N. Delatte, Ed. Woodhead Publishing, 2009, pp. 3–31.
5. K. Kovler, V. Chernov, "Types of damage in concrete structures," in Failure, Distress and Repair of Concrete Structures, N. Delatte, Ed. Woodhead Publishing, 2009, pp. 32–56.
6. U. Dilek, "Condition assessment of concrete structures," in Failure, Distress and Repair of Concrete Structures, N. Delatte, Ed. Woodhead Publishing, 2009, pp. 84–137.
7. M. Raupach, T. Büttner, Concrete Repair to EN 1504: Diagnosis, Design, Principles and Practice. CRC Press, 2014.
8. M. Raupach, L. Wolff, "Standards and guidelines for repairing concrete structures," in Failure, Distress and Repair of Concrete Structures, N. Delatte, Ed. Woodhead Publishing, 2009, pp. 141–168.
9. D. Breyse, "Deterioration processes in reinforced concrete: an overview," in Non-Destructive Evaluation of Reinforced Concrete Structures, vol. 1, Woodhead Publishing, 2010, pp. 28–56.
10. El Heraldo, Barranquilla, "Artistas porteños reviven el viejo muelle – Fundación Puerto Colombia," 10-Nov-2016. <http://fundacionpuerto-colombia.org/artistas-portenos-reviven-el-viejo-muelle/>.
11. ACI Committee 201, ACI 201.2R-16: Guide to durable concrete. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2016.
12. Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente, NSR-10. Bogotá, Colombia, 2010.
13. Luis Cantillo Lastre, "Por fuerte oleaje, se hunde parte del muelle de Puerto Colombia," El Heraldo, 09-Mar-2017. <http://www.elheraldo.co/barranquilla/por-fuerte-oleaje-se-hunde-parte-del-muelle-de-puerto-colombia-335291>.
14. Mayra Alejandra Romero Sayas, "Reportan caída de 30 metros del muelle de Puerto Colombia," El Heraldo, 11-Mar-2016. <http://www.elheraldo.co/local/fuerte-oleaje-derriba-30-metros-del-muelle-de-puerto-colombia-248119>.

↓ Casilla al extremo final del muelle (tramo hundido)
CORTESÍA UNIVERSIDAD DEL NORTE





construdata SEMINARIO



El seminario es un campo
de construcción de conocimiento,
basado en los temas editoriales
de la **revista Construdata**
y sus aliados más importantes.



Día:

Miércoles 7 de Junio de 2017

Hora:

7:00 a.m.- 4:00 p.m.

Lugar:

Legis S.A. Av. el Dorado 82 - 70



Tema Central:

- Mano de obra - Valor real del salario VRS
- Honorarios
- Las conducciones eléctricas flexibles una nueva alternativa para la construcción y solución de cajas de consolidación
- Gestión del riesgo en proyectos de Construcción
- Reforma tributaria: implicaciones en el sector
- Deficientes prácticas profesionales: estudio de casos

Qué reciben:

Asistentes:

- 📍 Formación en cada uno de los temas del contenido
- 📜 Certificado de asistencia patrocinado por:
Universidad Militar Nueva Granada - UMNG,
Sociedad Colombiana de Arquitectos - SCA
y Consejo Profesional Nacional de Ingeniería - COPNIA
- 📁 Memorias
- 📁 Material de trabajo
- ☕ Coffe Break
- 🍽️ Almuerzo
- 🚗 Parqueadero

Patrocinador DIAMANTE:

- 🏠 Logo en todo el material publicitario y las presentaciones del evento
- 👤 Base de datos de asistentes
- 📌 Pendón
- 📺 Espacio para muestra comercial
- 📜 Logo en certificado de asistencia
- 📧 News a los asistentes con información de la empresa
- 🕒 Espacio de 45 minutos para charla que determine el patrocinador

Patrocinador ORO:

- 🏠 Logo en todo el material publicitario y las presentaciones del evento
- 👤 Base de datos de asistentes
- 📌 Pendón
- 📺 Espacio para muestra comercial

Patrocinador oficial:



Aliados:



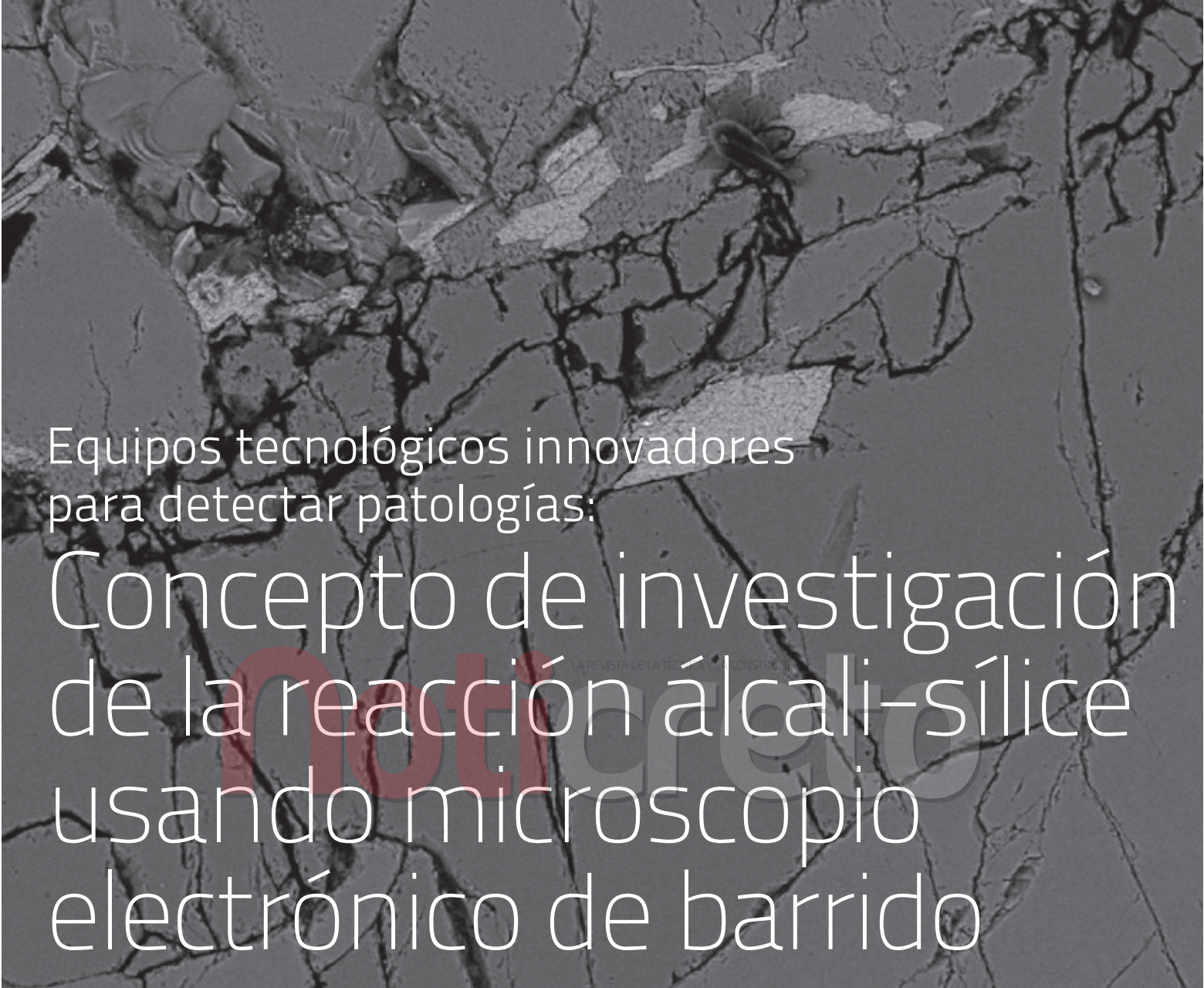
UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

DIRECCIÓN DE EXTENSIÓN
Y PROYECCIÓN SOCIAL



GNECCO - MENDOZA
ABOGADOS

Empresas interesadas en participar en el evento o personas interesadas en asistir al seminario contactarse en Bogotá al 425 52 01 o a la línea gratuita nacional 018 000 510 888



Equipos tecnológicos innovadores
para detectar patologías:

Concepto de investigación de la reacción álcali-sílice usando microscopio electrónico de barrido

Ing. Nicholas Myers Arrazola
Ingeniero de Ciencias de materiales
-EPFL, Suiza

Fotos y gráficas: Archivo particular
Nicholas Myers -EPFL

La utilización de la fuerza hidráulica tiene larga tradición en países como Suiza y Colombia, puesto que la topografía y las condiciones favorables permiten transformar las corrientes de agua en energía eléctrica mediante represas imponentes como Nant-de-Dranse en Suiza o Hidrosogamoso, inaugurada en 2015 en Santander. A su vez, las geologías de Suiza y de Colombia tienen semejanzas y ambas pueden presentar agregados susceptibles de presentar reacción álcali-sílice. Próximamente va a presentarse un concepto de investigación hecho en Suiza que bien podría ser aplicado a obras de infraestructura en nuestro país. El estudio asocia pruebas de laboratorio y microscopía electrónica de barrido como alternativa para el diagnóstico y el nivel de riesgo futuro asociado a la reacción álcali-sílice.

↑ Detalle visto a través del microscopio electrónico de barrido de fisuras y gel expansivo causados por la reacción álcali-sílice.



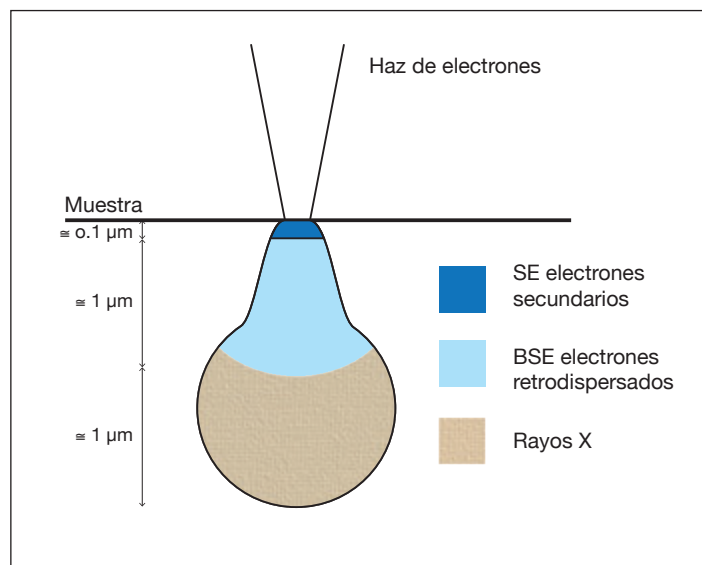
↑ Represa de Illsee, construida en 1923. Fundaciones y cresta afectadas por la reacción álcali-sílice. Rehabilitación entre 2011 y 2013.

Los avances tecnológicos y los métodos modernos

de diagnóstico permiten el estudio avanzado de las patologías químicas en materiales como cementos, morteros y concretos. El microscopio electrónico de barrido ofrece la posibilidad de estudiar la microestructura y la composición química de los principales elementos a nivel micro y nanoscópico. Este método de caracterización se usa en la investigación, pero también permite observar propiedades físicas y químicas como el avance de la reacción de hidratación, la porosidad y el diagnóstico de las principales patologías de concretos como la reacción álcali-sílice, la formación de etringita retardada y la contaminación por iones de cloro o sulfatos.

Funcionamiento del microscopio electrónico de barrido

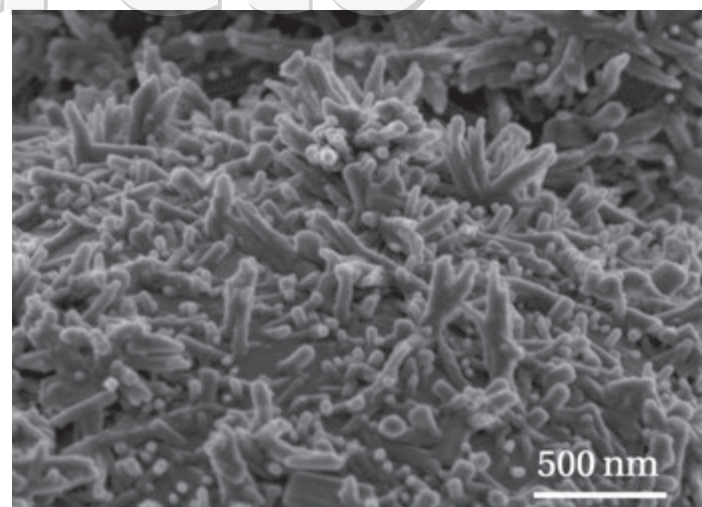
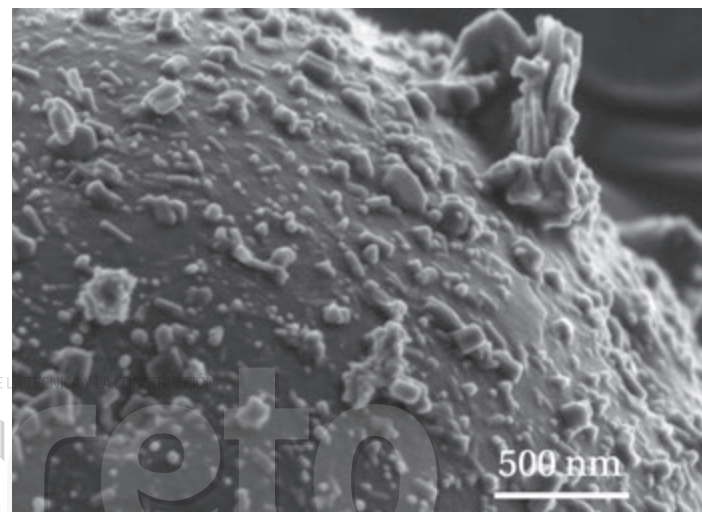
En un microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM por sus siglas en inglés), las muestras son bombardeadas por un haz de electrones. Estos electrones son generados por un filamento de tungsteno y acelerados por alto voltaje (de 30 a 35 kV). El



↑ Esquema de funcionamiento del microscopio electrónico de barrido.

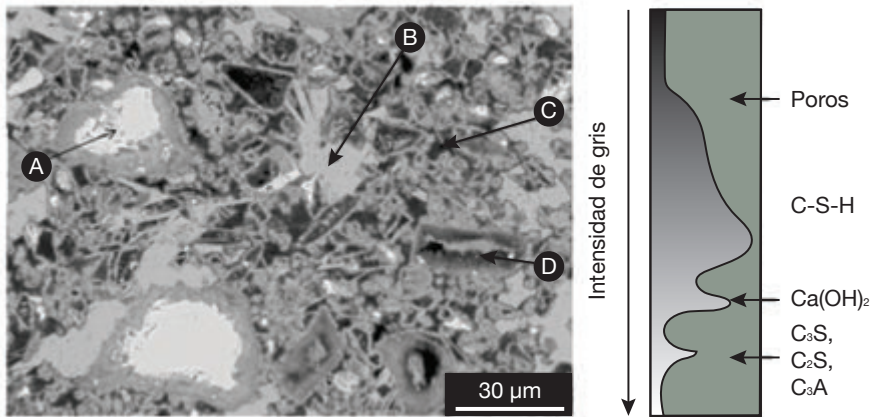
haz de electrones que se genera puede ser enfocado por lentes electromagnéticas y dirigido con exactitud sobre la superficie de la muestra. Las interacciones entre el haz y la muestra ocurren en un volumen de aproximadamente $1\mu\text{m}^3$ (según el voltaje aplicado y la composición del material analizado). Las interacciones electrón-materia provocan tres principales tipos de radiaciones características: electrones secundarios (SE), electrones retrodispersados (BSE) y rayos X. Cada una de las interacciones permite obtener información específica de la muestra.

- **Electrones secundarios** (*Secondary electrons, SE*): permiten tener una imagen del relieve y morfología de la muestra.



↑ Imágenes SE de ceniza volante sobre las cuales se ven nacer los hidratos de cemento después de 2 (arriba) y 7 (abajo) horas de contacto con agua.

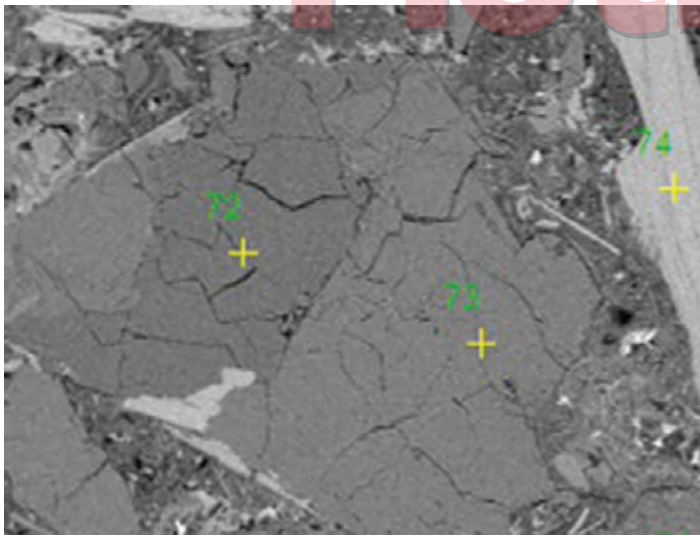
- **Electrones retrodispersados** (*Backscattered electrons, BSE*): permiten obtener informaciones sobre la composición química de la muestra. La diferencia de intensidad de color gris de las imágenes permite distinguir las fases principales del cemento. La intensidad de gris de las imágenes está relacionada con la densidad del material analizado. Entre más oscuro sea el material, menor será la densidad: las zonas más claras de la imagen son los granos de cementos no-hidratados, las grises son hidratos y las zonas negras son poros.



↑ La intensidad de color gris de la imagen BSE permite definir el tipo de hidrato de cemento. A: Grano de cemento no-hidratado. B: Portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$. C: Poro. D: Grano de cemento hidratado.

- **Rayos X** (*Energy dispersive X-ray spectroscopy, EDS*): permiten un análisis cuantitativo de la química de la muestra. Cada elemento químico produce un rayo X con energía específica que permite ser identificada y cuantificada para cada elemento.

EDS permite disparar con el haz de electrones a una zona específica y obtener la composición química del agregado o del hidrato de cemento. El mineral puede ser identificado comparando los resultados con la literatura científica.



↑ En el caso de esta imagen, el objetivo es confirmar el tipo de agregado en el concreto. La cuantificación con el análisis de rayos X permite escoger los puntos que van a ser analizados (puntos 70 a 74 de la imagen).

Los resultados EDS se muestran en la tabla 1, donde se encuentra la imagen del punto que fue disparado y su composición química; con este método es posible determinar el mineral. Por ejemplo, el punto 72 en la imagen representa cuarzo (SiO_2) y el punto 73 representa albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$).

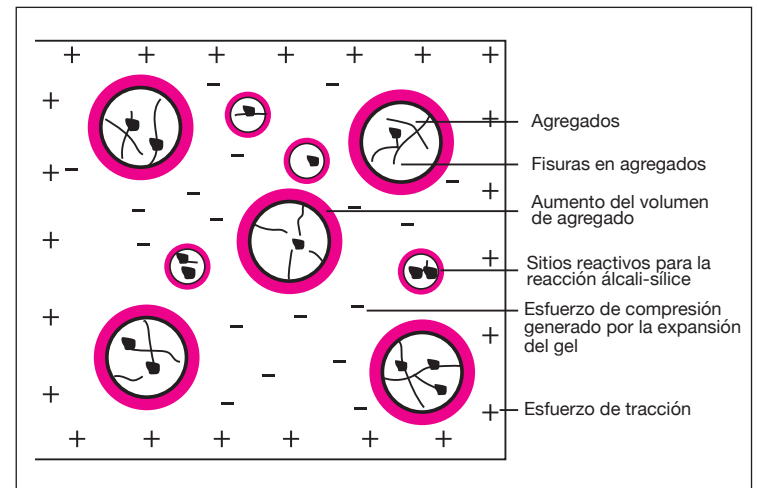
Reacción álcali-sílice

La reacción álcali-sílice es una patología que afecta algunas obras de concreto. Estas obras son principalmente túneles, fundaciones, pilares de puentes, carreteras, muros de contención, elementos prefabricados y presas. La patología se manifiesta por la aparición de fisuras locales o distribuidas uniformemente en la estructura. La manifestación macroscópica de la reacción álcali-sílice puede aparecer después de un tiempo de servicio de hasta veinte años, dependiendo de la calidad del concreto, del tipo de cemento y del tipo de agregado.

La aparición de fisuras reduce progresivamente la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad y, cuando la reacción es más agresiva, la resistencia a la compresión. Tres componentes son necesarios para desarrollar la reacción álcali-sílice:

- Agregados reactivos.
- Una solución de poros alcalina (pasta de cemento).
- Agua.

La reacción álcali-sílice es activada con la combinación de una solución de poros alcalina y de sílice amorfa



↑ Mecanismo de aparición de fisuras por la reacción álcali-sílice.

ELEMENTO	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
70	63,8	0,1	0,1	9,8	14,1	0,0	0,0	0,3	8,4	3,4
71	65,5	0,0	0,1	9,3	13,6	0,0	0,0	0,3	7,7	3,5
72	66,5	0,1	0,0	0,2	33,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
73	62,0	5,5	0,0	9,6	20,7	0,0	0,0	0,1	1,9	0,1
74	61,6	0,4	5,3	8,0	13,9	0,0	0,0	5,0	0,0	5,7

↑ Tabla 1. Resultados de EDS.

en los agregados. La sílice reactiva puede estar presente en diferentes tipos de rocas, pero se encuentra principalmente en minerales como cuarzo, feldespato, biotita, albita y moscovita. Los alcalinos libres (Na^+ y K^+) pueden venir del cemento, de los agregados o de fuentes externas como los aditivos o el agua. De la reacción entre los álcalis y la sílice se produce un gel higroscópico que se expande con el agua. Esa expansión del gel así formado va a generar una presión en la estructura que se manifiesta por la aparición de fisuras en los agregados, en la pasta de cemento, y sobre la superficie. Las fisuras formadas en el concreto favorecen el acceso de la humedad al concreto, de los iones cloruros, sulfatos y de los álcalis.

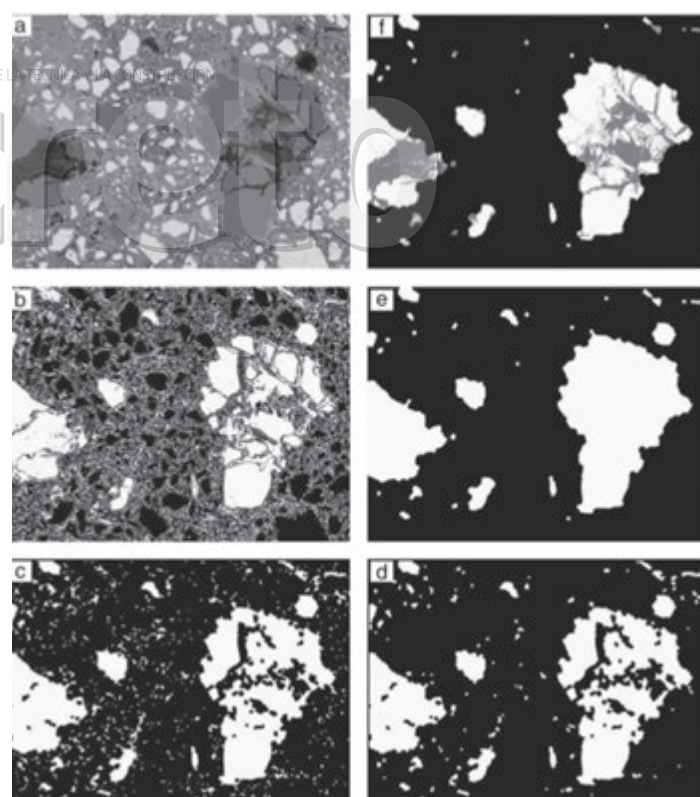
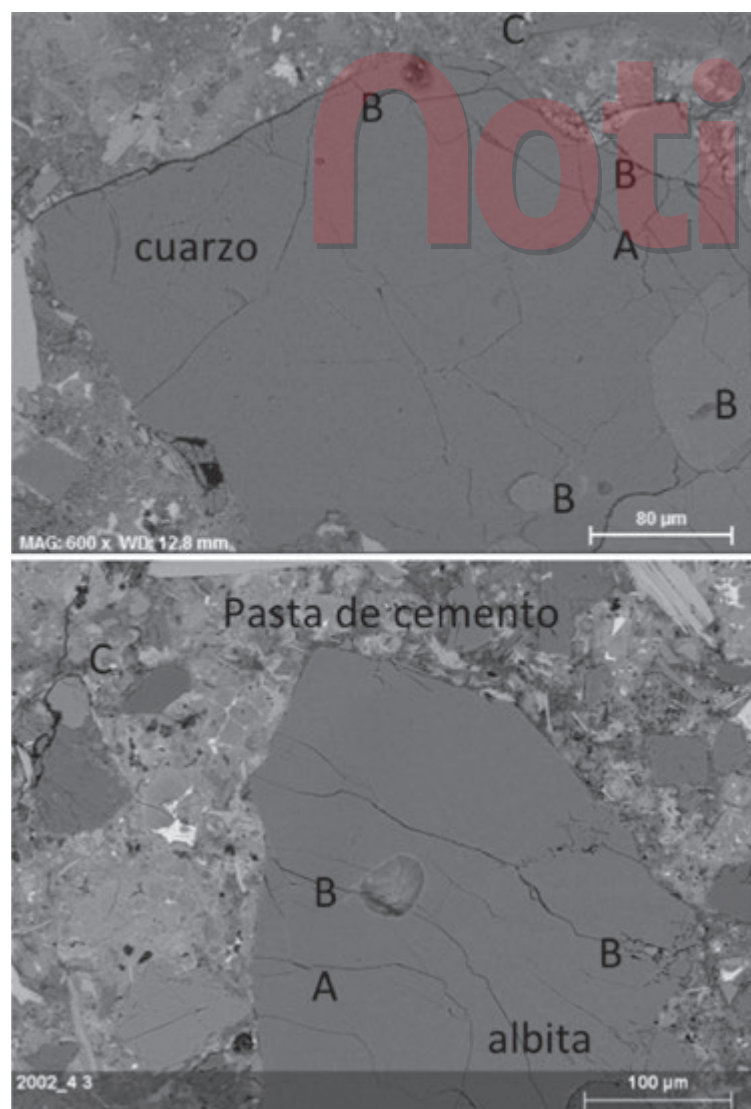
Diagnóstico de la reacción álcali-sílice: ejemplo de presas

Varias presas de los Alpes Suizos construidas entre 1920 y 1970 presentaron patologías de reacción álcali-sílice. Estas represas presentaron fisuras generalizadas y se midieron deformaciones irreversibles en las estructuras. El objetivo del estudio fue proponer un método para determinar el

estado actual de la estructura y estimar el avance de la reacción álcali-sílice para determinar el nivel de riesgo durante el tiempo de servicio futuro. Los estudios de patología se hicieron examinando núcleos extraídos de las presas.

El examen microscópico de los núcleos permitió confirmar la reacción álcali-sílice. En las imágenes del microscopio electrónico de barrido es posible observar los agregados reactivos fisurados como cuarzo y albita. También se notan fisuras en la pasta de cemento. El examen químico por EDS y las imágenes BSE permitieron demostrar la patología de reacción álcali-sílice y estimar el estado actual de expansión del gel.

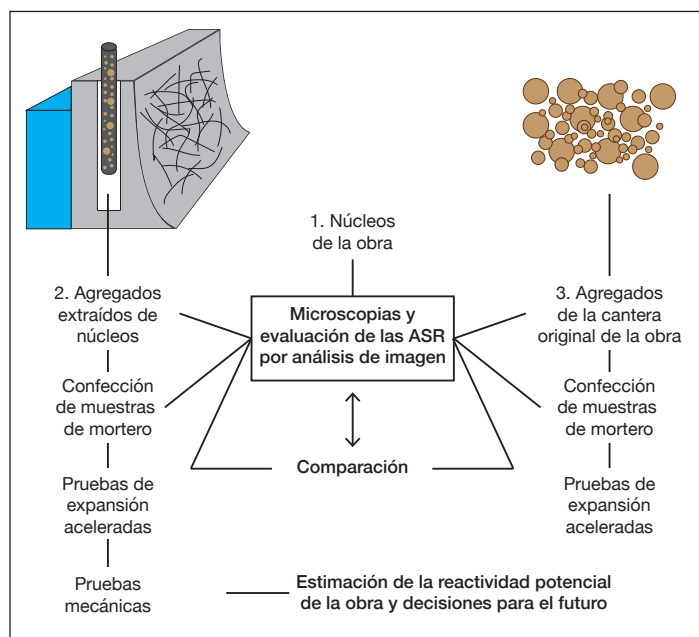
Los métodos innovadores de análisis de imagen usando microscopía electrónica de barrido permiten definir la fracción de gel expansivo y el daño causado. El método desarrollado en el Instituto Suizo de Tecnología de Lausana necesita más de cien imágenes de microscopías electrónicas para ser representativo, y sobre ellas se aplican diferentes tratamientos informáticos que permiten identificar los agregados reactivos, las fisuras causadas por la reacción y estimar la cantidad de gel expansivo.



↑ Método para determinar las zonas reactivas y el daño causado por la reacción álcali-sílice. Se utilizan gran cantidad de imágenes y un programa que aplica varios tratamientos de segmentación de intensidad de gris y morfología. a: imagen original. b, c, d, e: tratamiento morfológico y de intensidad de gris. f: imagen final con la definición de las zonas de reacción álcali-sílice.

- ↑ A: fisuras en el agregado generadas
B: sitios reactivo llenos de gel
C: fisuras la pasta de cemento

Este método, combinado con pruebas de expansión aceleradas (por ejemplo, ASTM 1293) y con pruebas mecánicas en laboratorio permite estimar el comportamiento futuro de la reacción álcali-sílice. La cinética de esta reacción es muy compleja puesto que depende tanto de parámetros



↑ Concepto de investigación en laboratorio.



1 2 3 Ejemplo de rehabilitación de la represa de Illsee en los Alpes suizos. Impermeabilización y corte vertical tipo "slot-cutting" con una sierra de diamante. El corte vertical permite disminuir el esfuerzo interno causado por la expansión del concreto generado por la reacción álcali-sílice.

internos (agregados, cemento, agua, estado del concreto), como de parámetros de campo (variaciones de humedad y temperatura). Por estas razones todavía no existe un modelo predictivo teórico para medir el impacto de la reacción, y cada estructura debe ser analizada de manera independiente. El concepto de investigación propone hacer distintas pruebas aceleradas de expansión en laboratorio y microscopías en diferentes momentos para seguir el avance de la reacción álcali-sílice y medir en cada paso la fracción de gel expansivo:

- Núcleos de la estructura para medir el avance actual de la reacción álcali-sílice.
- Prismas para método acelerado con agregados extraídos de los núcleos expuestos en la estructura a la reacción álcali-sílice. Así se permite definir el potencial de reactividad a futuro del agregado.
- Prismas para método acelerado con agregados de la cantera original no expuestos a la reacción álcali-sílice. Así es posible definir la reactividad de los agregados y comparar las pruebas de expansión en laboratorio y el estado de la reacción en la represa.

Ese concepto permite comparar pruebas físicas de expansión, pruebas mecánicas y análisis de microscopía electrónica de barrido. La estimación del avance y de la cinética de reacción se puede hacer bajo la hipótesis de que el comportamiento en las pruebas de laboratorio es similar al comportamiento en campo. Se han hecho varios estudios sobre represas que permiten estimar el comportamiento de la estructura y definir conceptos de rehabilitaciones, dependiendo del avance y cinética de la reacción álcali-sílice. Una de las alternativas de rehabilitación es el *slot-cutting* en el cual la presa se corta en varios lugares de forma vertical con una sierra de diamantes a fin de liberar el esfuerzo en la estructura.

Conclusión

El conocimiento científico y las normas técnicas actuales permiten prevenir la reacción álcali-sílice en los proyectos. Son indispensables el control de calidad de las materias primas (cemento, agregados, agua, aditivos, etc.) y la validación del diseño de la mezcla de concreto. Esto requiere de expertos en patologías químicas, pruebas normalizadas en laboratorios acreditados y estudios previos al inicio de la obra.

Para las obras existentes, las primeras fisuras pueden aparecer después de varios años de servicio y es difícil estimar cuál va a ser la evolución de los daños sobre las estructuras. Es indispensable realizar diagnósticos avanzados que permitan evaluar el impacto de las patologías sobre las estructuras, proponiendo soluciones de rehabilitación que sean innovadoras, de alta calidad y económicamente eficientes.

Bibliografía:

- Dr. T. Chappex, State of advancement of the alkali silica reaction of the foundations of the dam of Serra in Wallis (Switzerland), 2008, Swiss Institute of Technology, Lausanne
- M. Ben Haha, E.G., A. Guidoum, K.L. Scrivener, Relation of expansion due to alkali silica reaction to the degree of reaction measured by SEM image analysis. Cement and concrete research, 2007. 37: p. 1206-1214.
- Dr. J.G. Hammerschlag, D.C.P., Dr. N. Zenhäusern, Analyse des bétons du barrage de Serra (Vs). 1991: Lausanne.
- Dr. Elise Berodier, K.L., Scrivener, Impact of the Supplementary Cementitious Materials on the kinetics and microstructural development of cement hydration, 2015, Swiss Institute of Technology, Lausanne
- Dr. T. Chappex, Dr. P. Kronenberg, La réaction alcali-granulat, Bulletin TFB, 2017, Wildeg. 

Dramix®



**Tenemos la tecnología,
tenemos el conocimiento**

Para sus pisos industriales,
use fibras de acero Dramix®,
la marca original.

Contáctenos y le brindaremos asesoría
personalizada para su proyecto:

☎ 315 412 9367 |  

www.proalco.bekaert.com

 **BEKAERT**

Diez claves para evitar patologías en estructuras prefabricadas

Ing. Alejandro López Vidal

Gerente Técnico Asociación Española de la Industria del Prefabricado de Concreto – ANDECE, España

La vida útil de una estructura de concreto exige acciones de mantenimiento para evitar diferentes fallas patológicas, motivo por el cual debe considerarse desde la etapa de construcción de la estructura.

FLICKR- LOS ANGELES DISTRICT



Durante muchos años se han construido en todo el planeta infinidad de estructuras de concreto como puentes, edificios y túneles. La vida útil de una estructura de concreto exige acciones de mantenimiento y conservación pues, como cualquier otro material de construcción, el concreto se deteriora con el tiempo. Sin embargo, este deterioro puede reducirse y ralentizarse si se actúa con acierto desde el comienzo, es decir, desde la fase de diseño de las estructuras. Y es aquí donde la prefabricación, aceptada como la versión industrializada de la construcción en concreto, ofrece las condiciones idóneas para prevenir futuras patologías a lo largo de la fase de servicio de la estructura. En este artículo destacaremos diez factores clave que, a nuestro juicio, son fundamentales para evitar patologías en las estructuras prefabricadas.

La prefabricación como metodología industrial

En un artículo anterior¹ ya introdujimos dos definiciones esenciales que particularizan la identidad propia de los elementos prefabricados. Por un lado, la norma europea EN 13369 los define como *“productos de concreto fabricados en un lugar distinto de su localización final de uso, protegidos de las condiciones ambientales adversas durante la fabricación y que son resultado de un proceso industrial bajo un sistema de control de producción en fábrica [...]”* Y, por otro, *“la prefabricación es la aplicación de ideas [...] de racionalización de procesos productivos, búsqueda de economía y desarrollo como fruto de los mayores rendimientos alcanzables en la ejecución de trabajos más repetitivos, cuidadosamente planificados, ejecutados en entornos más favorables, con medios suficientes y por personal especializado [...]”*

De estas definiciones, se puede extraer que: 1) los productos se fabrican protegidos de las condiciones ambientales adversas; 2) son resultado de un proceso industrial bajo un sistema de control de producción en fábrica; y 3) racionalización de procesos productivos. Estos condicionantes previos permiten poner al servicio de la construcción el entorno óptimo para conseguir estructuras de concreto que minimicen la aparición de patologías posteriores y que extiendan su vida útil incluso más allá de la prescrita en el proyecto.

En cualquier caso –y a pesar de trabajar en un entorno industrial, en instalaciones con creciente grado de automatización y con recursos humanos cada vez más conocedores de la manera de trabajar con el material– es necesario identificar los puntos clave sobre los que deben priorizarse las actuaciones iniciales para lograr estructuras durables y menos susceptibles al deterioro.

Las siguientes diez claves de actuación se distribuyen en las distintas fases previas a la puesta en servicio de las estructuras, en las cuales el prefabricador puede intervenir por completo (pudiendo completar la entrega de la estructura mediante su montaje) o limitar su participación a la producción de los elementos. De esta forma, el primer elemento clave –quizás el más importante– es contar siempre con la opinión y experiencia de la empresa prefabricadora que suministra los elementos, al ser quien mejor conoce la función y la respuesta que tendrán las estructuras.

Durante el diseño

La fase de proyecto representa la etapa definitiva y de ella dependerá en gran medida que la estructura no sólo sea resistente y mecánicamente estable, sino que sea menos degradable durante los muchos años de funcionamiento que le asignen.

De forma general, la industria de la prefabricación suele trabajar con materiales escogidos para alcanzar mayores resistencias a edades tempranas (< 24 horas)



↑ Durante muchos años se han construido en todo el planeta infinidad de estructuras de concreto con elementos prefabricados que por sus condicionantes previos permiten poner al servicio de la construcción el entorno óptimo para conseguir estructuras de concreto que minimicen la aparición de patologías posteriores.

FLICKR-NEIL MCALEER

y poder desmoldear o destensar los cables según el caso, con dosificaciones más cuidadosas, curado en un entorno industrial y concretos más compactos, o un cumplimiento más riguroso de los recubrimientos de los refuerzos, que permiten estimar una mayor durabilidad frente a la construcción convencional.

A nivel de estructura, el proyecto deberá definir formas y detalles constructivos que faciliten la evacuación del agua y sean eficaces frente a los posibles mecanismos de degradación del concreto. Los elementos de equipamiento, tales como apoyos, juntas, drenajes, etc., pueden tener una vida más corta que la de la propia estructura por lo que, en su caso, se estudiará la adopción de medidas de proyecto que faciliten el mantenimiento y sustitución de dichos elementos durante la fase de uso.

Asimismo, hay distintos problemas que pueden manifestarse durante las fases de ejecución, e incluso cuando la estructura ya está en uso, y cuya prevención siempre debe partir de un cuidadoso estudio durante el diseño de la estructura. Por ejemplo, diferentes trabajos realizados por la empresa española INTEMAC², tanto en rehabilitación como en patología y en control de proyecto, detectaron problemas en obra que hubieran sido evitables si el proyecto se hubiera definido adecuadamente:

➔ Tabla 1. Posibles problemas en ejecución, que son evitables mediante un diseño correcto.

PROBLEMA	PREVENCIÓN
Uniones	Los apoyos suelen ser los puntos más conflictivos de las estructuras prefabricadas, y su diseño y ejecución deben ser especialmente cuidados. Por tanto, se deben dimensionar adecuadamente las juntas y uniones para que sean capaces de transmitir los distintos tipos de esfuerzos a las que estarán sometidas.
Falta de estabilidad lateral en vigas o en otros elementos horizontales	Defectos de apoyos como consecuencia de imprecisiones en las tolerancias de fabricación y montaje (establecidas durante el diseño).
Descabezado de aristas	Evitar, siempre que sea posible, las ménsulas cortas o los apoyos a media madera, ya que suelen dar problemas en su ejecución o durante el funcionamiento en servicio, al tratarse de puntos conflictivos donde se concentran problemas de fisuración y degradación del concreto.

↓ Losa semi-maciza empleada como pantán marítimo. Requiere una definición precisa de todos los parámetros de diseño para cumplir su función en un entorno de especial agresividad.
CORTESÍA ANDECE

Otro problema eventual derivado de cierta indefinición de proyecto puede producirse en las cimentaciones en cáliz, en cuyo caso se deja en la zapata un cajeado que recibirá a la columna y que posteriormente será rellenada con un mortero grout. En este caso es fundamental proporcionar suficiente resistencia y rigidez a los cajeados para evitar la apertura de los mismos, siendo la profundidad del cáliz la suficiente para que permita la longitud necesaria de anclaje.

Por otro lado, el hecho de que el elemento sea estructural implica que el elemento se refuerce, presentándose automáticamente el riesgo más importante de las

estructuras de concreto: la corrosión de las armaduras. Para minimizar estos riesgos se puede recurrir al empleo de inhibidores de corrosión, o acudir directamente al empleo de armaduras galvanizadas o inoxidables, e incluso a la progresiva sustitución –parcial o completa– por fibras (acero, sintéticas, etc.), aunque su empleo todavía no está muy generalizado por el sobre costo inicial que implica, una inversión debe amortizarse durante gran parte de la vida de la estructura.

Durante la fase de fabricación

Aquí cabe destacar el enorme progreso experimentado en Europa, donde a partir del año 2007 casi la totalidad de elementos prefabricados de concreto destinados a estructuras debe cumplir las exigencias del marcado CE conforme a las normas europeas. Estas normas establecen una serie de requisitos que debe cumplir el fabricante a lo largo del proceso productivo, de manera que reduzca casi a cero las probabilidades de error.

La mayoría de los elementos industriales realizados en su mayoría mediante moldes, permite garantizar la obtención de elementos con mejores acabados y, por tanto, con menor incidencia de coqueras, vacíos, microfisuras o cualquier otra irregularidad superficial. Estos “defectos” superficiales serán, por lo general, simplemente estéticos, aunque conviene subsanarlos antes de la salida de los elementos de la fábrica, para eliminar cualquier riesgo posterior de entrada de agentes agresivos.

Por ejemplo, el control de los recubrimientos y los radios de doblado de las armaduras de mayor sección, pueden ser una fuente de problemas si no se controlan de forma precisa, especialmente en piezas de pequeño espesor.

Durante la fase de transporte

Debe prestarse especial atención a esta fase, en la medida en que los elementos no deben sufrir ninguna alteración. Para ello es importante respetar los proto-





colos de las empresas suministradoras y las cargas se coloquen de forma estable para no producirse ningún golpe o movimiento imprevisto que pueda dañar a los elementos antes de su entrega en obra.

Durante la fase de construcción

El montaje de la estructura se inicia a partir de la cimentación, cuyos apoyos deberán estar correctamente nivelados para cumplir con las cotas de origen definidas en el proyecto. En cualquier caso, es importante que haya una planificación previa que indique la secuencia de colocación de los elementos.

La precisión geométrica de las piezas —confiada a la mayor definición del proyecto en prefabricado y por la comprobación de las tolerancias dimensionales en la fase de fabricación— asegura que la ejecución, por lo general, se lleve a cabo de forma ágil y eficiente. Sin embargo, deben advertirse eventuales problemas por encaje inadecuado de los elementos a causa de un error o indefinición previa durante el diseño o la fabricación. En este caso, deberá analizarse la solución más conve-

niente, como suplemento de apoyos, modificación de la chapa de unión, pero nunca se deberá recurrir a forzar las piezas y los elementos de conexión.

También la aplicación de impregnaciones y revestimientos, que bien pueden ser aplicados durante la fase de construcción o con la estructura ya en servicio, constituyen los métodos más comunes para la protección de paramentos de concreto frente a la acción de los agentes agresivos más comunes responsables de la iniciación de los procesos de corrosión del concreto armado, que son el dióxido de carbono y los cloruros. En este caso, se pueden destacar los revestimientos de impermeabilización y estanqueidad de base cementosa, poliuretánica o epoxídica, como sistemas adheridos; y como sistemas no adheridos, las láminas de PVC, EPDM, caucho, etc.³. Otro caso es el de las pinturas con una doble función de impermeabilizante y anticarbonatación.

Otro aspecto importante recae sobre las estructuras mixtas como los forjados semi-prefabricados a base de vigueta y bovedilla o losas alveolares. Aunque, por lo general, el concreto utilizado para el macizado de

↑ Construcción del estadio del Athletic Club de Bilbao. Los elementos prefabricados de concreto se han impuesto para conformar las graderías de los escenarios deportivos porque cumplen eficazmente los requisitos de resistencia mecánica, durabilidad, resistencia al fuego, rapidez de colocación y precisión dimensional.

CORTESÍA ANDECE

➔ Barrera prefabricada de concreto, utilizada como sistema de contención de carreteras. Es posiblemente uno de los elementos de construcción más susceptibles de recibir impactos que obliguen a reponerlos.
CORTESÍA ANDECE



juntas, rellenos o para completar la sección de forjado, tenga una resistencia menor, debe cuidarse la selección y puesta en obra del concreto *in situ*.

Además, la monitorización estructural consistente en la toma de medidas continuas o regulares de parámetros representativos de la estructura para obtener información precisa del estado de la estructura en cada momento, es un recurso que debe utilizarse en lo posible mediante, por ejemplo, el embebido de los sensores durante la fase de fabricación de los elementos prefabricados.

Durante la fase de servicio

Por último, debe ponerse en valor la importancia de la fase de funcionamiento de la estructura, especialmente cuando se encuentra a la intemperie (puentes) o en ambientes más agresivos (zonas de costa), al ser más susceptible de deterioro por agentes exteriores. Aquí deben respetarse los programas de mantenimiento rutinarios y preventivos –que deben prestablecerse en la fase de diseño de la estructura, como la fórmula más eficaz para evitar problemas de mayor envergadura y de resolución más costosa y compleja– y entre los que se encontrarían la limpieza de elementos de desagüe, la vigilancia del estado de los elementos de impermeabilización y juntas, la inspección de elementos auxiliares no estructurales, de vida útil inferior a la de la estructura y cuya degradación pueda afectarla negativamente, etc.

Conclusiones

A modo de resumen, se indican a continuación los diez factores clave que deben respetarse para lograr una estructura prefabricada durable:

- Clave 1: Contar con la asistencia técnica del prefabricador.

- Clave 2: Diseño correcto a nivel de detalles constructivos para facilitar la evacuación del agua.
- Clave 3: Diseño de accesos que faciliten la sustitución o reparación de otros elementos complementarios de vida útil inferior (juntas, drenajes, etc.).
- Clave 4: Especial atención en el diseño de elementos críticos como uniones, apoyos (ménsulas), cimentaciones en cáliz, etc.
- Clave 5: Sustitución parcial o completa de las armaduras tradicionales, para evitar o reducir los problemas futuros de corrosión.
- Clave 6: Cumplimiento estricto de los recubrimientos, dosificaciones, tolerancias dimensionales o cualquier otro parámetro de control durante la producción de los elementos.
- Clave 7: Respetar el protocolo de transporte de los elementos desde la fábrica hasta la obra.
- Clave 8: Aplicación de revestimientos de protección sobre elementos expuestos a la intemperie o ambientes de especial agresividad.
- Clave 9: Monitorización estructural, a través del embebido de sensores en los elementos prefabricados.
- Clave 10: Cumplimiento de los programas de mantenimiento rutinario y preventivo de la estructura.

Referencias

1. A. López Vidal, "Posibles patologías en prefabricados de concreto: Causas y soluciones", Noticreto N°. 137, 2016.
2. "Patologías en construcciones resueltas con elementos prefabricados de hormigón", INTEMAC, 2013.
3. "Guía informativa sobre reparación, refuerzo y protección del hormigón", ARPHO, 2016.

**EL PROGRESO DEL PAÍS
SE CONSTRUYE CON CALIDAD
E INNOVACIÓN, POR ESO
LAS GRANDES OBRAS
ELIGEN ULTRACEM.**

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

noticreto

Puente Pumarejo,
en construcción
con Ultracem



Línea nacional: 01 8000 123 987
o desde el celular: #399
www.ultracem.co



CORTESÍA GAMAR GREVIER



CORTESÍA GAMAR GREVIER

GRAND CENTRAL WATER TOWER

Lugar: Midrand, Sudáfrica

Año: 1996

Diseño: Gapp Architects & Urban Designers

La Grand Central Water Tower, es una pieza de escultura urbana situada a las afueras de Midrand en Sudáfrica. Es una estructura que abastece el suministro de agua de esa población, construida en forma de cantiléver y con una capacidad de 6.500 m³. Su altura total es de 40 m, la cual proporciona la presión necesaria para el sistema de suministro de agua, el cual puede ser complementado con una bomba durante los periodos con baja demanda. La estructura monolítica está compuesta de concreto pretensado y es una de las grandes muestras mundiales de resistencia y versatilidad que proporciona este material.



CORTESIA KIMAR GREVAR

Regresando la vida a las estructuras de concreto

Reforzamiento de estructuras con platinas de fibra de carbono postensadas

Ing. Jorge Rendón
Rehabilitación de Estructuras, Sika Colombia S.A.

Fotos y esquemas: Cortesía Sika Colombia S.A.



↑ Vista lateral de un puente en Francia reforzado con las platinas de carbono tensionadas (parte lateral de las vigas).

El sistema de reforzamiento estructural con materiales compuestos FRP es uno de los métodos de mayor importancia en la actualidad en todo el mundo. La sigla FRP proviene del inglés *Fiber Reinforced Polymer* (polímero reforzado con fibras) y está conformado por fibras de gran resistencia a la tensión que se unen con resinas sintéticas (usualmente epóxicas) para conformar un laminado y obtener un sistema de reforzamiento muy eficiente. Son tres las características que han hecho famoso al FRP, a saber:

- Gran resistencia a la tensión: en el caso de las platinas de fibra de carbono, se ven resistencias aproximadamente 7 veces mayores que el acero convencional usado en construcción.
- Bajo peso: aproximadamente 5 veces más liviano que el acero, lo cual influye en la facilidad y tiempo final de instalación.
- No se corroen: El FRP es un material sintético, por lo cual no se corroe; incluso es posible aplicarlo en estructuras ubicadas en zonas costeras.

En la actualidad se comercializan en Colombia varios productos de FRP: platinas de fibra de carbono, tejidos de fibra de carbono, cordones de fibra de carbono y barras de fibra de carbono.

Los ingenieros estructurales disponen de varias guías para el diseño de reforzamientos con materiales compuestos FRP, como la guía norteamericana ACI 440.2R-08 (2008) y las guías europeas Fib 14 (2001) y Fib 35 (2006). Existen otras guías como la inglesa TR55 (2012) y la italiana CNR-DT 200 R1 (2014). En 2010 se publicó la guía para reforzamientos con FRP de estructuras de mampostería ACI 440.7R.

Los materiales compuestos FRP se usan para el reforzamiento de estructuras de concreto reforzado, mampostería, madera, metálicas incluyendo tuberías de conducción de crudo y gas.

Las razones más importantes por las cuales las estructuras se refuerzan con FRP son:

- Aumento de cargas verticales: estructuras como puentes, muelles y edificios pueden aumentar las cargas muertas y vivas para las que fueron diseñadas originalmente.
- Deterioro en el tiempo: el medio ambiente deteriora poco a poco a todas las estructuras. Las construcciones costeras sufren más, debido al ataque de las sales marinas. También el deterioro por fuego o explosiones son comunes.
- Errores de diseño y construcción: son casos típicos las estructuras con baja resistencia a compresión del concreto o con deficiencia en acero de refuerzo.

- Actualización sísmica: Colombia es un país en donde suceden sismos con cierta frecuencia. La mayor parte de la infraestructura está ubicada en zonas de riesgo sísmico alto e intermedio.

Los materiales compuestos FRP se adhieren a la superficie de las estructuras que van a reforzar mediante el uso de adhesivos. El objetivo es aumentar la capacidad de carga de los elementos estructurales como vigas, losas, columnas y muros.

Hay proyectos especiales que exigen un gran aumento de carga por parte de los elementos estructurales y que no pueden ser solucionados con materiales compuestos FRP convencionales adheridos al concreto (platinas y tejidos de fibra de carbono). Es entonces cuando hay que aplicar una solución más poderosa, como por ejemplo las platinas de carbono postensadas.

Sistema de platinas de carbono postensadas

Los materiales compuestos FRP como las platinas de carbono son, de por sí, una solución de reforzamiento muy eficiente. Sin embargo, al aplicarles una fuerza de tensionamiento (postensado), se convierten en una solución activa muy poderosa para el reforzamiento estructural.

La platina o platinas de carbono son tensionadas y fijadas al concreto mediante el uso de unos anclajes metálicos embebidos en el concreto. A la platina de carbono se le instala una cabeza de fibra de carbono en cada extremo mediante unas cuñas especiales. De esta manera la platina de carbono puede instalarse dentro de los anclajes metálicos y tensionarse con un gato hidráulico. Existe un extremo fijo y un extremo móvil que es donde se instala el gato hidráulico.

↓ Figura 1. Esquema de una estructura reforzada con una platina de carbono postensada.



Ventajas del sistema

El sistema de platina/platinas de carbono postensadas tiene las siguientes ventajas:

- Fácil de manipular e instalar por su bajo peso.
- No requiere espacios grandes para su instalación.
- La platina de carbono no se corroe.
- La fuerza se puede transferir de manera concentrada en los extremos o a lo largo de la platina de carbono mediante el adhesivo epóxico. La platina de carbono puede estar adherida o no adherida a lo largo de su longitud.
- Mínimas pérdidas de la tensión (menos del 0,01%).
- Se puede instalar con la estructura en operación.

Características de las platinas de carbono

La platina de carbono tiene las siguientes características:

- Ancho: 60 mm
- Longitud: rollo de 250 m (se corta la longitud requerida en el proyecto)
- Espesor: 2,6 mm
- Módulo de elasticidad: 165.000 N/mm²
- Esfuerzo de tensión último: 2.800 N/mm².

Y las fuerzas de tensionamiento son:

- Esfuerzo de tensionamiento: 1.410 N/mm²
- Deformación de tensionamiento: 0,0085
- Fuerza de tensionamiento: 220 KN.



↑ Foto 1. Extremo fijo del sistema de platinas de carbono postensadas. Se ven la platina de carbono y la cabeza de fibra de carbono en su extremo, las cuales se sostienen por medio de un anclaje metálico dentro del concreto.



↑ Foto 2. Extremo móvil del sistema de platinas de carbono postensadas. Se ve la platina de carbono y en su extremo la cabeza de fibra de carbono. También se ve el gato hidráulico con el cual se aplica la fuerza de tensionamiento (22 ton).

Aplicación en edificios industriales y de apartamentos

Las losas y las vigas de los edificios deben reforzarse a menudo por aumento de las cargas vivas y cambios de uso, por ejemplo. La transferencia de la fuerza concentrada en los extremos de las platinas de carbono es una ventaja en la configuración estructural. Cuando no se pueden lograr los objetivos del reforzamiento con platinas de carbono sin tensionar, el sistema de platinas de carbono postensadas se convierte en una buena alternativa.

Los muros de mampostería tienen a menudo insuficiente capacidad de soportar las fuerzas laterales de sismo. Al aplicar una fuerza vertical de postensionamiento con las platinas de carbono, se aumenta la resistencia a fuerzas de corte en las mamposterías. Lo anterior también es válido para edificios con pantallas en concreto reforzado.

En la foto 3 se muestra el reforzamiento de un muro (pantalla de concreto reforzado) con las platinas de carbono postensadas. Se ve el extremo de una de las platinas de carbono en el momento de aplicación de la fuerza de postensado por medio de un gato hidráulico (se aplican 22 toneladas).

Las ventajas son:

- Se puede aplicar a edificios históricos (estructuras de mampostería).
- El postensionamiento vertical aumenta la resistencia a cargas laterales de sismo.
- Fácil de instalar por su bajo peso. Las platinas de carbono se pueden cortar en las longitudes requeridas (rollos de 250 m de longitud).

La foto 4 muestra 3 platinas de carbono postensadas en la parte inferior de una losa de un casino en Viena (Austria). Se requería eliminar 2 columnas del edificio para aumentar el espacio de un salón. Antes de eliminar las columnas se instalaron y tensionaron las 3 platinas de carbono.



↑ Foto 3. Extremo móvil del sistema de platinas de carbono postensadas.



↑ Foto 4. Platinas de carbono postensadas en la losa de un edificio en Viena (Austria).

Aplicación en puentes

La capacidad de soportar cargas y la funcionalidad de los puentes se puede deteriorar por un aumento de las cargas vivas, cambios en el sistema estructural, corrosión, defectos en el diseño y en la construcción. Las losas pueden tener poca capacidad de carga, lo que conduce a su fisuración. El reforzamiento con las platinas de carbono postensadas reducirá el ancho de las fisuras debido a la fuerza activa de tensionamiento que se aplica.



↑ Foto 5. Extremo móvil del sistema de platinas de carbono postensadas (zona donde se coloca el gato hidráulico para la aplicación de la fuerza de tensado), en un puente en Suiza.

Las ventajas son:

- Reforzamiento a flexión de vigas y losas.
- Reforzamiento a cortante de vigas cajón.
- Reducción de los anchos de fisuras en las losas.
- Se restituyen las condiciones de preesfuerzo en el concreto, perdidas por daño en los tendones de acero preesforzado.
- Diferentes configuraciones de aplicación, ya sea debajo de las vigas o en la parte lateral.
- Se mejora el esfuerzo a la fatiga al reducir los esfuerzos de tensión en el acero.
- Se puede instalar bajo condiciones de operación del puente.
- La fuerza se puede transferir de manera concentrada en los extremos o a lo largo de la platina de carbono. La platina de carbono puede estar adherida o no adherida a lo largo de su longitud.
- No se corroe.



↑ Foto 6. Interior de la viga cajón de un puente en Suiza. Se ven las platinas de carbono y el extremo móvil (zona donde se hace el tensionamiento de las platinas de carbono).



↑ Foto 7. Tensionamiento de una platina de carbono en el reforzamiento de un puente en Francia. Se distinguen la cabeza de fibra de carbono en el extremo de la platina de carbono, los anclajes metálicos (extremo móvil o extremo de tensionamiento) y el gato hidráulico que aplica una fuerza de 22 ton.

Hay proyectos en donde es suficiente reforzar la estructura con FRP sin tensionar, simplemente adherido a la superficie. Pero hay casos en donde el nivel de carga es más grande y el FRP sin tensionar no soluciona el problema. Es indudable que en esos casos la solución se obtiene con el FRP postensado o tensionado.

Consideraciones del sistema

Un proyecto con platinas de carbono postensadas tendrá menos platinas que uno con platinas simplemente adheridas (sin tensionar). El tensionamiento permite aprovechar mayor cantidad de fuerza de tensión de la platina de carbono y por lo tanto es más eficiente que la solución sin tensionar.

El principio básico del reforzamiento de estructuras de concreto con platinas de carbono postensadas es similar al del concreto postensado convencional. Una porción, o toda la carga muerta se transfiere a las platinas antes de la adherencia y anclaje de las mismas al concreto. Los anclajes mecánicos en el extremo de las platinas de carbono transfieren el preesfuerzo al concreto. Las platinas de carbono postensadas toman una parte de la carga muerta y la carga viva, en comparación con las platinas de carbono sin postensar, que solo toman una parte de la carga viva.

Otras ventajas que se obtienen al reforzar con las platinas de carbono postensadas, son las siguientes:

- La estructura es menos susceptible a fisurarse una vez esté en servicio y, si lo hace, el ancho de las fisuras es más estrecho y el número de fisuras es más distribuido. Hay que tener en cuenta que las fisuras son un problema para la correcta adherencia del FRP (platinas o tejidos de fibra de carbono).
- Se mejoran la durabilidad y el servicio de la estructura debido a la reducción en la fisuración.
- Si la estructura ya está fisurada antes del reforzamiento, al instalar las platinas de carbono y postensarlas se cierran las fisuras existentes.
- Se logra el mismo nivel de reforzamiento, pero con menos cantidad de platinas de carbono comparado con un reforzamiento con platinas de carbono sin tensionar.
- El eje neutro se encuentra más abajo en el caso de las platinas postensadas, lo cual resulta en una mayor eficiencia estructural.
- El tensionamiento incrementa la carga a la cual empieza a fluir el acero de refuerzo interno.

Las fotos 8 y 9 muestran el reforzamiento de un puente en Suiza, colocando las platinas de carbono.

➔ Foto 8. Platina de carbono en la parte lateral de una viga de un puente en Suiza.



➔ Foto 9. Detalle del anclaje de la platina de carbono postensada.



Historia de las platinas de carbono postensadas

El primer reforzamiento con platinas de carbono se hizo en 1991 en el puente Ibach en Lucerna, Suiza. Se reforzaron las vigas con platinas de carbono de 5 m de longitud, 15 cm de ancho y 2 mm de espesor, simplemente adheridas al concreto (sin tensionar).

En Colombia y América Latina se realizó el primer reforzamiento con platinas de carbono en 1996 en el puente Cocorná, en la vía Medellín-Bogotá. Se colocaron platinas de carbono de 5 cm de ancho y 1,2 mm de espesor en la parte lateral de las vigas para incrementar su capacidad a cortante, simplemente adheridas al concreto (sin tensionar).

A finales de la década de 1990 inventan el sistema de platinas de carbono postensadas en Suiza y en el año 2000 hacen el primer reforzamiento con este sistema (puente Reuss en Lucerna, Suiza).

En la actualidad se han reforzado más de 400 estructuras con las platinas de carbono postensadas, principalmente en países de Europa (Suiza, Alemania, Francia, Polonia, Austria).

En Latinoamérica no se han aplicado las platinas de carbono postensadas. Se han reforzado estructuras con las platinas y tejidos de fibra de carbono pero sin tensionar, simplemente adheridos al concreto o a la mampostería mediante adhesivos epóxicos.

Conclusión

Hay proyectos de reforzamiento de estructuras en donde el nivel de cargas es grande, por ejemplo, cuando el nivel de cargas es el doble del que soporta el elemento estructural (vigas y losas). En esos casos las platinas de carbono simplemente adheridas no solucionan el problema. Se requiere entonces un sistema de reforzamiento más potente, como son las platinas de carbono postensadas. 



Nuevo Puente Pumarejo (Barranquilla - Atlántico)
Sistemas Empleados: TRIO, ST-100, LIWA, CB-240, MULTIFLEX, PERI UP.



Ampliación de Puerto Bolívar (Pto. Bolívar - Guajira)
Sistemas Empleados: LIWA, VARIOKIT, MULTIFLEX, TRIO.



Fuste Torre de Control - Aeropuerto El Dorado (Bogotá)
Sistemas Empleados: VARIO VT-20K, RCS-LITE.

**Especialistas en
soluciones de
Encofrados y Andamios**

PERI

PERI S.A.S.
Encofrados Andamios Ingeniería

Bogotá

Km 2 Vía Briceño Zapaquirá
Parque Industrial TIBITOC Bodega 10A
Tel: +57 1 878 57 67
Móvil: +57 1 318 349 24 29

Medellín

Cra 35 A # 15 B OF 206 Edificio Prisma
Tel: +57 4 268 96 19
Móvil: +57 1 318 827 71 68
peri.colombia@peri.com.co
www.peri.com.co

Avances en ensayos para patología del concreto

Radars y láser vs. Iones y corrosión

Laboratorio del Concreto, Asocreto



↑ Equipo para ensayo de Pull off.
ARCHIVO ASOCRETO

En ingeniería se efectúan ensayos por al menos cuatro razones: para determinar la magnitud de una propiedad objeto de investigación, para establecer el comportamiento de un sistema bajo ciertas condiciones (v.gr., pruebas de carga), para hacer comparaciones entre las características o comportamientos del material (v.gr., métodos no normalizados), y las mediciones más conocidas, para ejercer control de calidad de la construcción. Todas estas razones tienen aplicación en la construcción, la evaluación o la rehabilitación de una estructura.

En principio, los ensayos son necesarios cuando se realizan las obras o se escogen los materiales acordes con las especificaciones del proyecto. También cuando se ejerce control de calidad del concreto en la fase de construcción, cuyo plan de ensayos debe cumplir, por ejemplo, con los requisitos de durabilidad necesarios para satisfacer lo esperado por el diseñador y los usuarios.



En esta primera etapa, deberíamos trabajar preventivamente para evitar o minimizar los riesgos de deterioro en la construcción, que lleven a efectuar estudios futuros de patología en el concreto. No siempre se tiene esta consideración, por lo que no es raro que se emprendan construcciones que dejan de lado las recomendaciones y los reglamentos vigentes que brindan herramientas para prevenir el deterioro derivado de fenómenos bien conocidos como la reactividad álcali-agregado o la disminución de la vida útil del concretos en contacto con agentes agresivos presentes en el aire, el agua o el suelo.

En un escenario posterior, cuando la estructura está en uso y se evidencian síntomas o lesiones que ponen en duda los niveles de servicio o de seguridad, hay que contar con la adecuada tecnología de medición para establecer los mecanismos de daño que afectan a una determinada estructura. Esto permitirá que las soluciones de rehabilitación sean eficientes y verdaderamente prolonguen la vida útil total de la construcción. Curiosamente en nuestra realidad, por desconocimiento o falta de regulación, se deja de lado la rigurosidad

↑ Estructura de concreto deteriorada, objeto de evaluación.

FLICKR-THE JUSTIFIED SINNER

que demanda el control de calidad en intervenciones de reforzamiento o la rehabilitación.

En algunos casos se pueden requerir estudios de patología sobre elementos estructurales o no estructurales, que fueron objeto de estudios y rehabilitaciones previas. Ejecutar aquí solamente ensayos tradicionales (compresión simple, flexión, etc.) deja de lado aspectos fundamentales que deben ser evaluados por la razón de ser de estas intervenciones, como la adherencia, la permeabilidad o la uniformidad en el refuerzo.

Sin embargo, una vez se ha decidido que la estructura debe ser evaluada y se ha hecho una adecuada convocatoria de profesionales para especificar las necesidades de ensayo, el plan de muestreo deberá contar con un completo detalle del tipo de medición a realizar, su ubicación y demás condiciones necesarias para garantizar el éxito del proyecto y así evitar que surja una situación en la que, al realizar los análisis, se cuente con información escasa que no permita describir el proceso de afectación y por consiguiente genere deficientes propuestas de rehabilitación.

La recopilación de evidencias en la etapa preliminar de la diagnosis mostrará la línea de trabajo de los primeros ensayos a efectuar. Usualmente la extracción de núcleos para evaluar la resistencia a compresión siempre está presente por cuanto es un habitual parámetro para describir el concreto hidráulico. Pero un plan de investigación eficiente y profesional conoce que no existen correlaciones “perfectas” entre la compresión simple y las demás propiedades del concreto *in-situ*. Este error es muy frecuente cuando se asume que patología es sinónima de solamente extraer núcleos para ensayo.

Si bien es cierto que en nuestra región se ha avanzado en algunos aspectos de los ensayos de patología, igualmente es importante reconocer que no se hacen en la cantidad adecuada y donde corresponda, con un propósito preventivo, que permita indagar de manera adecuada para generar información suficiente para realizar análisis estadísticos y modelos que permitan conocer el estado actual de la construcción, y que adicionalmente sirvan para evaluar si las reparaciones realmente aportarán a la vida útil de la estructura como se espera. No se podrán tomar decisiones acertadas, sino se cuenta con datos que así lo permitan.

Nos ocuparemos entonces de ilustrar algunos de los nuevos ensayos aplicables a la revisión del estado del concreto y que complementan los planes de ensayo propios de un estudio de patología integral.

Sistemas de monitoreo de salud estructural

Cuando se tienen evidencias de afectaciones por desplazamiento excesivo, por vibraciones o por otras acciones mecánicas, físicas o inherentes a los cambios volumétricos en el concreto, hace falta considerar la información que de manera continua se puede adquirir con un sistema de monitoreo y que permite ajustar los modelos de predicción o entender los mecanismos de daño que afectan al material.

Los sistemas de monitoreo de la salud estructural (*Structural health monitoring, SHM*) combinan varias disciplinas de la ingeniería, donde el seguimiento de cargas, daños, desplazamientos y otras variables se realiza combinando sensores, métodos de adquisición y software de procesamiento. Este campo del conocimiento, inicial y genéricamente denominado como instrumentación estructural, combina sensores de desplazamiento, temperatura, vibración y variables ambientales que permiten conocer la respuesta de las estructuras ante sollicitaciones externas. Si la instrumentación se instala desde la puesta en servicio de la construcción o si se utiliza en el marco de un programa de monitoreo preventivo, el análisis de la información que rinde permitirá decidir asertivamente sobre los grados y alternativas de intervención para rehabilitar la infraestructura.

Evaluación de la resistencia *in situ*

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10 considera el ensayo a compresión de núcleos de concreto bajo la norma NTC 673, como el único aceptado para investigar los resultados bajos de resistencia a compresión, y en sus comentarios permite que se empleen métodos indirectos para evaluar la uniformidad de los elementos con ensayos como el índice esclerométrico NTC 3692, la velocidad de pulso ultrasónico NTC 4325 o las pruebas de arrancamiento (*pull-out*) ASTM C900.



↑ Ensayo de *pull-out* ASTM C900.
© CONQUALITYTIPS

Este conjunto de métodos combinados en una auscultación permite obtener información del concreto *in situ* en cuanto a su resistencia a compresión, sin generar, en el caso de los métodos indirectos, mayor intervención que la limpieza del concreto antes de ejecutar el ensayo. En la actualidad, varias investigaciones consideran alternativas para ensayo de núcleos como prueba directa, y existe una tendencia creciente a utilizar pruebas no destructivas para determinar la uniformidad del concreto.

Estudios recientes relacionan las pruebas de arrancamiento con la resistencia en núcleos. En el área de las mediciones indirectas se ha presentado la técnica de medición de la resistencia del concreto con un “martillo de prueba” que involucra un acelerómetro y permite correlacionar la resistencia con la onda que se genera en el punto de impacto sobre la superficie de concreto.

Permeabilidad y el ion cloruro

En términos generales, todavía no existe un método aceptado universalmente para caracterizar la estructura de poros del concreto y relacionarla con su durabilidad. No obstante, y de acuerdo con diversos autores, la permeabilidad del concreto, al aire o al agua, es una excelente medida de su resistencia al ingreso de agentes agresivos en estado gaseoso o líquido. La evaluación de la permeabilidad es, además, una herramienta útil para diagnosticar el estado de construcciones existentes, identificando las áreas más sensibles donde efectuar otros estudios (cloruros, carbonatación, corrosión, etc.) En Colombia se cuenta con la norma técnica NTC 4483 para evaluar la permeabilidad al agua sobre núcleos extraídos. Pero existen a su vez, ensayos para evaluar la tasa de absorción –como el método de la

ASTM C1585 o el ensayo ISAT (BS1881: PART 5)– que tradicionalmente se han ejecutado y cuyo fluido de prueba es el agua. En la actualidad hay equipos que evalúan la permeabilidad con aire, un ensayo que además ofrece la alternativa de hacerlo en campo.

Uno de los agentes agresivos más estudiados es el cloruro. La penetración de los iones cloruro a través de los poros o defectos del concreto ha sido objeto de amplia experimentación y modelación, por cuanto incide directamente en el avance de la corrosión del acero reforzado. Es conocida la técnica de pulverización del concreto para obtener la concentración de iones libres o totales mediante ensayos indicativos de campo o químicos en laboratorio. Estos iones transitan dentro del concreto de varias formas: permeabilidad, difusión, electro-migración, gradiente térmico y factores como la adsorción o la succión capilar que pueden aumentar las velocidades de transporte.

De igual manera, existen métodos experimentales para evaluar la penetración del ion cloruro. Un tipo de ensayo es el de difusión pura, como el que expone la norma AASHTO T259 (*Salt ponding test*), o el método NT BUILD-443 (*Bulk diffusion test*). Sin embargo, estos métodos requieren largos periodos para obtener resultados (35 a 90 días). Por ello han tomado más relevancia los métodos donde se evalúa la electro-migración del ion cloruro.

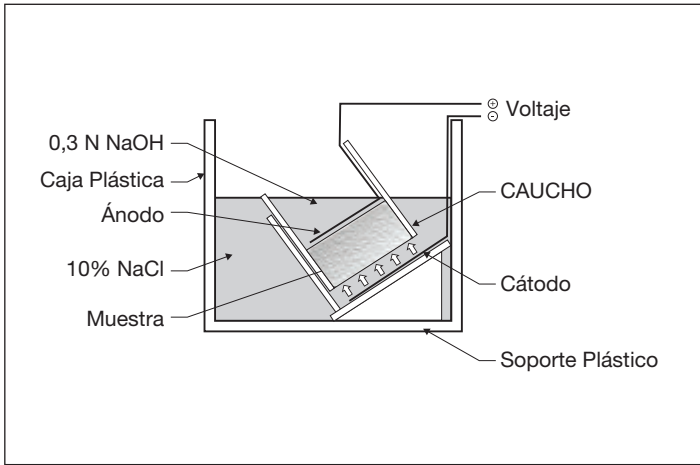
El primero de ellos es el ensayo rápido de permeabilidad del cloruro, por sus siglas en inglés RCPT. Es una prueba normalizada por la norma ASTM C1202 y consiste en determinar la capacidad del concreto para resistir a la penetración de los cloruros sobre una muestra cilíndrica de 100 mm de diámetro y 50 mm de diámetro, la cual es colocada entre dos reservorios sobre los que se aplica una diferencia de potencial de 60 voltios durante 6 horas. En un extremo se tiene una solución de NaOH (ánodo) y en el otro NaCl (cátodo). Luego del ensayo, el equipo deberá contar con los registros de la corriente en amperios que pasó a través de la muestra para determinar una carga total en coulombs que fue transmitida por el concreto. Los valores de carga permiten valorar la permeabilidad del concreto, como se muestra en la Tabla 1.

CARGA COULOMBS	CLASIFICACIÓN
>4.000	Alta
2.000-4.000	Moderado
1.000-2.000	Baja
100-1.000	Muy Baja
<100	Despreciable

↑ Indicador de penetración de ion cloruro según ASTM C1202. CORTESÍA ASTM

El Nordtest NT BUILD-492 es otro método de migración ampliamente aceptado. Utiliza la misma muestra en disco del RCPT, pero en un montaje diferente, como se presenta en la Figura 1. Este ensayo requiere que tres probetas sean sometidas individual-

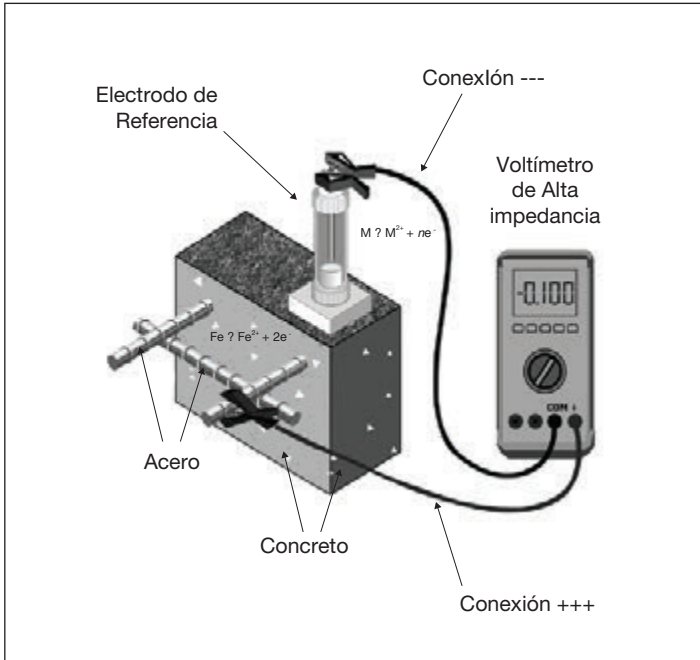
mente con una diferencia de potencial que es variable y con una duración que según el paso de corriente inicial, puede requerir entre 5 y 96 horas.



↑ Esquema del ensayo Nordtest NT BUILD-492. CORTESÍA ASTM

Corrosión

Cuando el propósito del análisis es conocer el avance de la corrosión en el concreto se tienen varias opciones con métodos comunes, o con otros menos habituales porque exigen equipos de especial nivel tecnológico. Las mediciones con un equipo de media celda (ASTM C816) permiten estimar el potencial de corrosión del acero de refuerzo. Con este método se obtienen mapas de grandes superficies de concreto para un análisis en detalle. La variable evaluada en este caso es la diferencia de potencial que se obtiene cuando un electrodo de referencia entra en contacto con la superficie del concreto y un cátodo es anclado a un punto del acero de refuerzo.



↑ Esquema de ensayo de media celda según ASTM C876. CORTESÍA ASTM



También se han incorporado equipos que permiten medir la resistividad del concreto y la velocidad de corrosión dentro del sistema concreto-acero, brindando dentro de la diagnosis, la posibilidad de obtener resultados complementarios del avance del daño de manera ágil y sin recurrir solamente a escarificaciones para inspección directa.

Exploración con radar de penetración – GPR

Los métodos geofísicos aplicados a la ingeniería tienen más de veinte años de ser implementados y cuentan con amplia gama de aplicaciones en varias industrias. Principalmente, son aplicables en la exploración del subsuelo y en casos tan particulares como las exhumaciones en yacimientos arqueológicos. Las frecuencias con que las antenas emiten las ondas electromagnéticas en las que se basa este principio operan desde los 15 MHz hasta el rango de 900 a 2.600 MHz que se emplean en la auscultación del concreto.

Durante la fase de análisis, el GPR permite obtener imágenes de zonas interiores del concreto. La información de campo se somete a un post-proceso bajo software especializado que, además de localizar la

↑ Inspección con radar de penetración- GPR.
ARCHIVO ASOCRETO

anomalía, facilita la generación de mapas de deterioro en todo tipo de elementos. La detección de tuberías o la localización del acero de refuerzo son las aplicaciones más directas de esta técnica. Sin embargo, cuando se realizan exploraciones de cimentación resulta de mucha utilidad para detectar la continuidad de los cimientos, así como su tamaño y la profundidad de los niveles de cimentación.

Otra aplicación de esta técnica es la detección de daños o defectos, especialmente durante la auscultación de estructuras de pavimentos y en las investigaciones sobre placas de puentes o pisos industriales. En estos casos, la ubicación de zonas con defectos permite focalizar allí otros tipos de ensayos necesarios para construir las hipótesis de daño.

Desarrollos con método de eco-impacto

El método del eco-impacto para evaluar estructuras de concreto hidráulico y algunas de mampostería, se basa en el uso de ondas generadas por impacto que se propagan a través del material y son reflejadas por los defectos del mismo o por sus superficies de borde. Con ello es posible localizar fisuras, espesores de losas

y hormigueros internos, sin necesidad de escarificar el elemento. La versión desarrollada de este método corresponde a los equipos para realizar tomografía tridimensional, con los cuales se obtienen imágenes para análisis donde los defectos u objetos de estudio se muestran en mapas de colores que facilitan la evaluación no destructiva del concreto.

Otros tipos de ensayos

La tomografía de resistividad eléctrica (ERT) que evalúa la corrosión dentro del concreto y otras aplicaciones con diversos tipos de ondas como termografía infrarroja, o las imágenes a partir de microondas han venido ganando terreno en las investigaciones sin que existan métodos normalizados o equipos de costo razonable que puedan ser aplicados en laboratorio o, idealmente, en campo. El campo de los ensayos no destructivos en otras áreas de ingeniería es más variado. Aquí hemos citado las técnicas de emisión acústica electromagnéticas y alusiones al monitoreo de análisis de vibraciones o las aplicaciones del infrarrojo. Pero existen más investigaciones aplicadas, empleando técnicas como la radiografía, el láser o nuevos desarrollos en con ultrasonido. Por tanto, se espera que próximamente existan equipos incorporando estas opciones.

Conclusión

El diseño del plan de muestreo que una estructura en evaluación o rehabilitación requiera, debe considerar el empleo de ensayos tradicionales integrados y combinados eficientemente con métodos descritos, los cuales permiten recopilar información relevante en el momento de describir los mecanismos de daño que ocurren en el interior del concreto hidráulico, y que muchas veces no se perciben con la inspección visual con las que se inician las diagnósis de estructuras existentes.

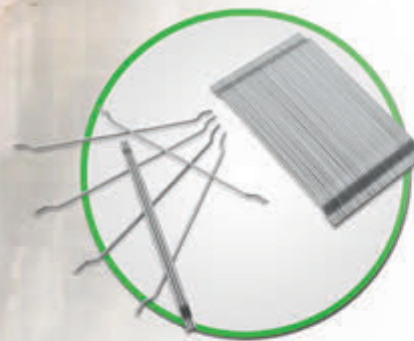
Bibliografía

- ICONTEC, Norma NTC 5551. Concretos. Durabilidad en estructuras de concreto, 2007.12.12
- HELENE Paulo Roberto, Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de Concreto, IMCYC, México, 1997
- ASTM, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, STP 169D. Joseph F. Lamond and James H. Pielert, Editors. 2006.
- ISHMII, International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure. En <http://www.ishmii.org/>
- Moczko A, Carino J. et al., Capo-test to estimate concrete strength in bridges, ACI Materials Journal, Nov-Dec 2016 Vol 113, Issue 06. pp 827-836
- TORRENT Permeatorr. En <http://www.m-a-s.com.ar/eng/documentation.php>
- Concrete hammer. En <http://www.concretetester.com/thehammer.php>
- Gecor. En <http://www.ndtjames.com/>
- Galvapulse En <http://germann.org/all-products>
- ACI 364.1R-94. Guide for Evaluation of Concrete Structures. Prior to Rehabilitation. (Reapproved 1999). Reported by ACI Committee 364.



**Por su mayor eficiencia,
rapidez y facilidad,**

**Diga Sí
a las fibras
de acero**



Ventajas de las fibras de acero SUPERCAM:

✓ Reemplaza la malla electrosoldada reduciendo horas de trabajo y espacio de almacenamiento.

✓ Aumenta la resistencia a la abrasión de los pavimentos exteriores, parqueaderos residenciales y comerciales.

✓ Aumenta el desempeño de las estructuras gracias al efecto de refuerzo en todo el espesor de las losas.

✓ Cuenta con asesoría especializada para cada proyecto.

✓ Mayor rapidez en la ejecución de sus proyectos.

Supercam
fibras de acero para concreto



Producido y distribuido por

Tel (57-4) 444 6767
ventas@camejia.com · Marinilla - Colombia

Evaluación y rehabilitación: El fuego y las estructuras de concreto reforzado

Ing. Carlos Arcila López
Gerente Técnico Duralab SAS

Fotos y diagramas: Cortesía Duralab SAS



↑ A altas temperaturas el concreto empieza a sufrir cambios en su mineralogía y en su estructura interna. También es importante anotar que el grado de deterioro depende, en cierta medida, de la composición de la sección.

Es poco frecuente que el concreto tenga que soportar altas temperaturas. Sin embargo, se deben enfrentar, a veces, casos donde una estructura está sometida permanentemente al calor intenso proveniente de hornos y otros equipos en un proceso productivo o, en eventos infrecuentes, a una estructura de concreto reforzado que fue afectada por una conflagración.

El concreto no es un material combustible y muestra una buena resistencia al fuego, pero no se puede clasificar como material refractario¹. Quien no ha recubierto con elementos refractarios su chimenea o una losa sobre la que se cocinan alimentos con brasas ardientes. El concreto se descascara muy fácilmente al fallar por los esfuerzos de ten-

sión generados por la expansión térmica. Incluso es una técnica conocida de preparación de superficie el aplicar una llama fuerte y continua sobre una losa a la que le queramos retirar algunos centímetros contaminados.

La tecnología básica del concreto nos dice que este material es incombustible y mal conductor del calor y que, en general, puede sobrevivir sin mayores problemas a temperaturas menores a 100 °C, incluso cuando esta temperatura es permanente.

No obstante, la estructura empezará a mostrar problemas frente al fuego dependiendo de la temperatura que alcance el material, del tiempo que la estructura permanezca expuesta a dicha temperatura e, incluso, de la forma y velocidad como se enfría después de haber alcanzado la temperatura máxima. Los bomberos, cuya misión es salvar vidas y bienes, causan a veces grandes daños estructurales con el enfriamiento rápido de una estructura afectada por el fuego, para no hablar de los que mueren en la misión por desconocer el peligro que encierra permanecer debajo de elementos estructurales que llevan varias horas expuestos al fuego.

A muy altas temperaturas el concreto empieza a sufrir cambios en su mineralogía y en su estructura interna. También es importante anotar que el grado de deterioro depende, en cierta medida, de la composición de la sección: cuantía de refuerzo y espesor de recubrimiento, tipo de agregados y cantidad y tipo de adición, debido a los gradientes de temperatura y a la expansión térmica diferencial entre los componentes de la sección de concreto reforzado¹.

Los daños debidos al fuego pueden incluir: cambios en la coloración del material, agrietamiento superficial, sigue a la fisuración el desconchamiento superficial, internamente se presentan luego fisuras alrededor de los agregados, después aparecen fisuras en la pasta de



↑ Medida del espesor de fisuras, en este caso en un elemento donde, además de la conflagración, hubo un evento explosivo.

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

cemento e incluso fisuras que atraviesan los agregados. Si la temperatura es muy alta y la conflagración ha durado varias horas empiezan a presentarse deformaciones de los elementos (hay una gran contracción por secado) y, finalmente, se presenta la pérdida de adherencia del concreto con el acero de refuerzo.

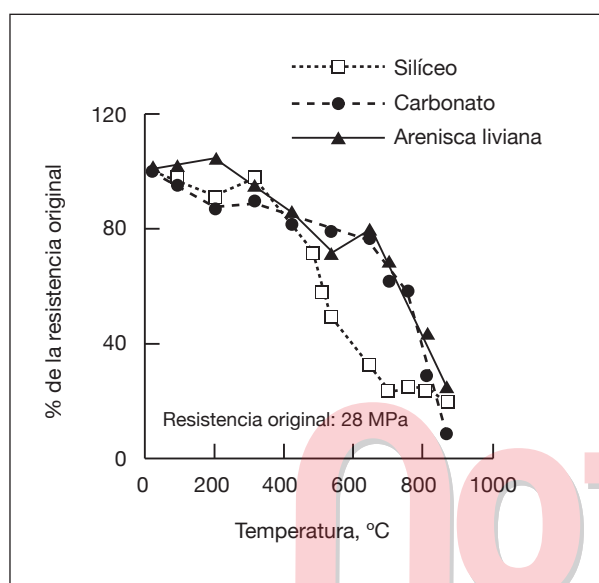
La literatura técnica incluye los siguientes fenómenos que se presentan a medida que asciende la temperatura del concreto:

- Por encima de los 110 °C se evaporan el agua de poros del concreto y el agua intersticial (fijada químicamente por el cemento). Esto significa que, en primer lugar, el concreto experimenta una expansión térmica, pero a renglón seguido empieza a contraerse por secado ante la pérdida de agua.
- Entre 200 °C y 300 °C el concreto prácticamente no se ve alterado y no acusa una gran pérdida de resistencia. Puede esperarse una pérdida del 10%.
- La máxima expansión ocurre alrededor de los 300 °C. Después de esta temperatura empieza una severa contracción de la pasta de cemento que puede alcanzar el 0,5% o incluso más, lo que conduce a una severa fisuración del elemento estructural. Esto se debe a que, mientras la pasta se contrae por el calor, los agregados se van expandiendo, paralelamente, al calentarse².
- Entre 400 y 500 °C se deseca el hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y se convierte en óxido de calcio (CaO). Aquí ya se experimenta una fuerte pérdida de resistencia, del orden del 50 al 60%.
- A temperaturas superiores a los 573 °C los agregados donde predomina el cuarzo, sufren una expansión súbita del 0,85%, lo que causa un enorme agrietamiento de la sección. Con los agregados calizos la cuestión es diferente, pues sufren una

↓ Determinación de espesor fisurado mediante extracción de núcleo sobre la grieta.



gran dilatación al llegar a 900 °C, pero para dicho momento los agregados de cuarzo ya han fisurado la estructura y la pasta de cemento está retornando a sus componentes iniciales al empezar a calcinarse. Por esta razón es conveniente usar agregado calizo en estructuras que requieran cierta resistencia al fuego. En estructuras de la industria petroquímica es común encontrar especificado agregado calizo (limestone). Por supuesto, los agregados de origen ígneo (basalto, por ejemplo) tienen excelente comportamiento frente al fuego.



← Porcentaje de la resistencia original de un concreto a medida que aumenta la temperatura de exposición, para tres tipos de agregados³.



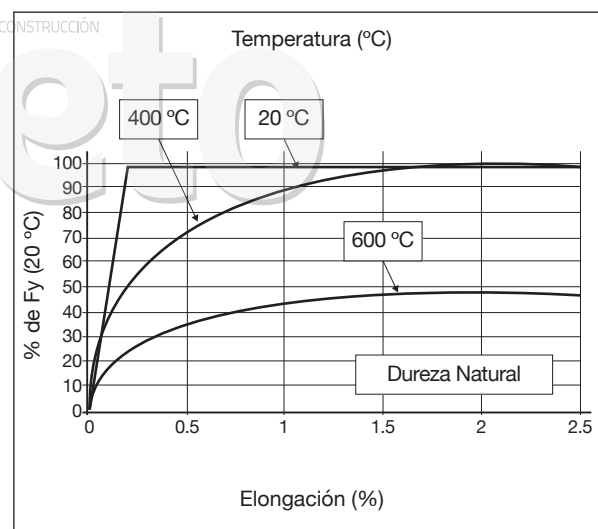
→ Porcentaje de tensión remanente en barras de refuerzo a medida que aumenta la temperatura⁴.

← Columna afectada por un incendio de gran duración. Estaba recubierta con una generosa capa de mortero que la protegía de un mayor deterioro, se observa que las fisuras coinciden con la posición de los flejes y la dirección de las barras longitudinales.

El acero de refuerzo

Demos ahora una mirada a lo que le sucede al acero de refuerzo. El acero tiene aproximadamente el mismo coeficiente de dilatación térmica que el concreto, por lo cual ambos materiales se deforman de igual manera en la zona afectada por el fuego, pero el acero tiene un coeficiente de conductividad térmica muchísimo mayor que el concreto. Esto explica que en puntos alejados de un elemento afectado localmente por el fuego se presenten expansiones de origen térmico, debidas al calentamiento del acero, que fisuran el concreto. Muchos elementos afectados por el fuego muestran, en toda su longitud, fisuras que coinciden con la posición de los flejes y, a veces, con el refuerzo longitudinal debidas al fenómeno que mencionamos.

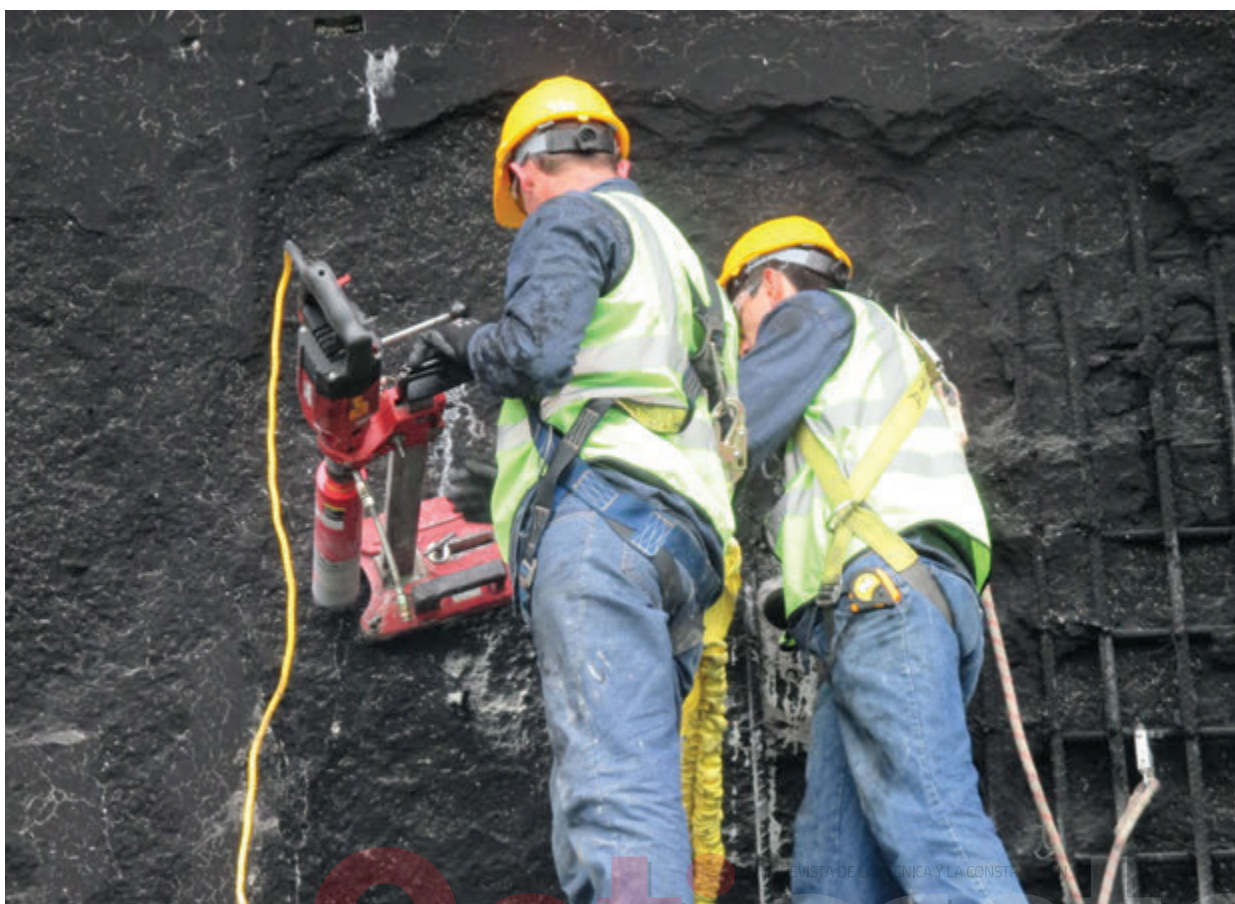
El acero tiene una ventaja frente a los incendios: a pesar de que su resistencia última va disminuyendo con la temperatura alcanzada, su deformación –incluso para temperaturas muy altas– permanece estable alrededor del 2,5%⁴. Tras enfriarse, el acero recupera un buen porcentaje de su capacidad inicial, si ha estado sometido a temperaturas inferiores a 600 °C.



Evaluación de estructuras afectadas por el fuego

La evaluación patológica de estructuras afectadas por el fuego tiene dos componentes importantes. El primero es la inspección de la estructura, en la cual deben participar tanto el especialista en materiales como el ingeniero estructural. Esta inspección determinará el grado de afectación general de la estructura, los elementos más castigados y la posibilidad de fallas estructurales mientras se evalúa la estructura, para tomar las medidas de apuntalamiento o de demolición correspondientes y avisar a propietarios y autoridades sobre la inminencia de un colapso.

En dicha inspección también se determinarán el alcance de la evaluación detallada, los elementos a evaluar y los ensayos a realizar.



← Extracción de núcleos para determinar espesor afectado y resistencia residual.

Al evaluar, generalmente se seguirá esta secuencia:

1. Determinación de la posición del acero de refuerzo en los elementos a los que se les va a practicar otros ensayos.
2. Toma de núcleos de concreto, en los cuales se observará, visualmente, el espesor afectado. La coloración del concreto puede dar idea de la temperatura que alcanzó.
3. Un ensayo especialmente indicado será la lectura de la velocidad de pulso ultrasónico, ya que el valor de dicha velocidad depende de la porosidad del concreto. Este ensayo se puede hacer en la estructura, o usando los núcleos extraídos de cada elemento. En ambos casos se requiere cortar para generar caras lisas donde posar los transductores. Si se hace en el elemento estructural, el concreto se debe ir retirando cuidadosamente, se alisa la zona donde se pondrá el transductor (esto genera cierta dificultad pero debe efectuarse) y se mide la velocidad entre dos caras. Se retira una nueva capa de concreto y se mide de nuevo la velocidad, hasta conseguir valores que indiquen que el concreto a esta profundidad ya no está alterado.

Este ensayo permite responder una de las primeras preguntas que le surgen al ingeniero estructural: ¿qué espesor del elemento está comprometido y debe ser retirado? Si se cuenta en la edificación con un elemento no afectado, las medidas de velocidad de pulso en este elemento se tomarán como referencia.

4. Los ensayos de esclerometría pueden ser útiles no tanto para determinar la resistencia del concreto sino, más bien, para delimitar aquellos sectores con concreto débil y muy deteriorado. A falta de esclerómetro puede usarse un martillo de peso normal, para golpear con cadencia la superficie detectando zonas donde un rebote débil y un sonido apagado indiquen que tenemos una zona con afectación importante, se requiere alguna experticia para adelantar este procedimiento.

↓ Pruebas de esclerometría para delimitar zonas débiles en los elementos afectados por el fuego.





← Golpeteo con martillo sobre la superficie para detectar las zonas más afectadas.

5. Toma de muestras de acero de refuerzo de la sección que el ingeniero estructural le indique al patólogo. Se llevarán al laboratorio para determinar su curva esfuerzo- deformación y los parámetros de rotura y de fluencia. Estos valores se compararán con los que reporte una barra sana de igual diámetro adquirida en la zona para el comparativo, o extraída de un elemento no afectado.
6. A veces se solicita llevar a cabo ensayos de profundidad de carbonatación. Aquí debe recordarse que la estructura estuvo sometida a un calentamiento intenso y perdió mucha agua, en especial en la capa de recubrimiento. Es común que al descubrir el acero en un sector y aplicar la solución de fenolftaleína el concreto no vire de color de gris a púrpura, lo cual le indicaría al patólogo que toda la capa de concreto expuesta está carbonatada. No obstante, al mojar la superficie con agua del grifo y, pasados unos minutos, al volver a aplicar la solución de fenolftaleína aparecerá concreto de color púrpura que indica un pH mayor a 10. Lo que hemos logrado al rociar con agua es restituir el agua de poros del concreto desecado por la conflagración. Recordemos aquí que la medida del pH se hace sobre líquidos, no sobre sólidos. Por eso, al preparar la solución de fenolftaleína, siempre es útil usar 90% de alcohol, 1% de fenolftaleína en polvo y 9% de agua, y así aportaremos siempre un poco de humedad al concreto sobre el que medimos profundidad de carbonatación.
7. Algunos de los núcleos extraídos se usarán para determinar en el laboratorio resistencia a compresión y módulo elástico. Igualmente se recomienda comparar los resultados con valores de núcleos obtenidos en elementos no afectados por el fuego.

Rehabilitación de estructuras afectadas por fuego

En general, se seguirá el mismo esquema que se aplica en la rehabilitación de estructuras afectadas por deterioros de otro tipo:

- Antes de emprender las labores de demolición y saneado de concreto o del acero, el estructural definirá el programa de intervención, requerimientos de apuntalamiento, apeos de cargas en caso de tener que reemplazar todo un elemento portante. Debe recordarse que no es conveniente intervenir todos los elementos al mismo tiempo, pues se puede inducir el colapso de sectores de la estructura.
- Determinar espesor a retirar de los elementos afectados por el fuego y, si es menor de 7 cm, restituirlo

Concreto en obra garantizado



Con una planta OMEGA, le producimos el concreto más fresco que existe, en cualquier lugar donde se localice su proyecto, sin límite de horarios, y en las cantidades que desee.

← Toma de muestra de acero de refuerzo para ensayar en el laboratorio a tracción y determinar las características físico mecánicas del espécimen.



con mortero de reparación estructural (de excelente adherencia, ojalá con fibras y con alta resistencia a flexión para evitar fisuración de la reparación). Incluso puede mezclarse el mortero con 30% de gravilla de 1/2".

- Si el espesor es mayor a 7 cm, se usará concreto autocompactante con gravilla fina (flujo mínimo de 63 cm), especialmente para restituir secciones de columnas y muretes de concreto. Puede usarse un mejorador de adherencia epoxi-cemento, pues permite colocar el concreto en las siguientes 24 horas y da tiempo para encofrar. La aplicación de adherentes epóxicos puede ponernos en una situación de emergencia, pues hay que colocar el nuevo concreto antes de que esta pega cure, de lo contrario habremos generado una capa antiadherente.
- Si es factible, lanzar concreto es una solución excelente para restituir secciones de losas y vigas, pero debe contarse con la tecnología apropiada (equipos, diseño de mezcla, aditivos y boquilleros expertos) para que el trabajo resulte exitoso. El concreto lanzado no requiere adherente alguno y, como supondrán, tampoco se necesitan encofrados.
- Si hay sectores donde resultó afectado el acero de refuerzo, se restituirá cumpliendo con los traslapes requeridos o con conectores certificados. El uso de fibras de carbono puede ayudar a reforzar con mayor limpieza y rapidez algunos elementos poco afectados que, sin embargo, requieran refuerzo a flexión o a cortante.

Nota: Se oye decir en ocasiones que una debilidad de las fibras de carbono es, precisamente, su poca resistencia al fuego. Pero no debemos olvidar que una condición que debe cumplir un elemento estructural candidato a ser reforzado con fibras de carbono es que dicho elemento se tenga en pie sin ellas.

La rehabilitación de estructuras afectadas por fuego exige, como muchos otros casos, una buena sinergia entre la ingeniería estructural, la patología y la ciencia de los materiales. Cada uno aportará lo suyo con miras a lograr una solución eficiente, técnicamente viable y económicamente ejecutable.

Bibliografía

1. Poole, Alan B. et al, Concrete Petrography, CRC, Second edition, 2015.
2. LEA'S Chemistry of Cement and Concrete, Fourth Edition, Edited by Peter C. Hewlett
3. Mehta, P. Kummar, et al, Concrete: Microstructure, Properties and materials, Mc Graw Hill, Third Edition, 2006.
4. Izquierdo, José María, Cálculo de estructuras de hormigón frente al fuego, Cuadernos Intemac, Madrid, 1996.



Productos y Servicios

- Venta, Garantía, Repuestos y Servicios de Planta Móvil de Concreto Omega.
- Alquiler de Plantas Omega.
- Maquila de Concreto con Materiales del Cliente.
- Suministro y Producción de Concreto Certificado, a Nivel Nacional.
- Aditivos Químicos para Concreto (BRK).



IN OMEGA
INGENIERÍA Y CONCRETO OMEGA

www.omegaColombia.com

VISÍTENOS:
Feria Expoconstrucción
& Expodiseño 2017

Pabellón: 11-16 Stand: 1101

Identificación y análisis de patologías en puentes de concreto en vías urbanas y rurales



↑ En general, se reconoce que técnicamente hay un énfasis en los grandes puentes de complejos sistemas estructurales, en detrimento de los puentes medianos y pequeños.

© VICTOR LANSINK

La importancia de los puentes en el desarrollo y en las relaciones humanas ha sido el objetivo principal del impulso para el conocimiento en la construcción y mantenimiento de dichas estructuras. En general, el objetivo básico de un puente es superar un obstáculo para luego continuar el camino. Sin embargo, tomando en cuenta la literatura técnica sobre clasificaciones de puentes, es necesario considerar aspectos del diseño tales como obstáculos a superar, vistas laterales, cantidad de vanos libres, área de soporte que constituye el material, naturaleza del tránsito, etc.

En general, se reconoce que técnicamente hay un énfasis en los grandes puentes de complejos sistemas estructurales, en detrimento de los puentes medianos y pequeños. Sin embargo, miles de pequeños puentes conectan a un sinnúmero de personas, ofreciéndoles acceso a oportunidades de recursos y a los flujos de producción. Desgraciadamente, es posible notar que la mayoría de los puentes rurales y urbanos presentan condiciones patológicas críticas, que ponen en riesgo la seguridad de la comunidad y dejan pérdidas económicas.

Los diseños de puentes se caracterizan por la complejidad y la información que debe ser sintetizada por el diseñador. La calidad de un puente puede medirse en función de sus resultados funcional, estructural, económico y estético. Es evidente la importancia vital que tiene el adecuado diseño estructural de un puente, puesto que se relaciona con su factibilidad, costos, funcionalidad y estética. Sin embargo, la eficiencia estructural no siempre se considera como una cualidad, sino como prerrequisito para un diseño correcto, en comparación con otras características tales como funcionalidad, hidráulica, ingeniería geotécnica y estética.

Luego de dimensionar y detallar cada paso, la mayor preocupación debiera ser la selección del método constructivo. La construcción y ensamblaje de un puente requieren estudios minuciosos. En este estudio en particular, se consideran todas las medidas que deben ser tomadas, paso a paso, para garantizar aspectos de seguridad en la construcción. Otra inquietud es la ubicación de recursos en el método constructivo, dada su importancia para la selección de la alternativa estructural de un puente. Existen numerosos métodos de construcción para superestructuras tales como el concreto vaciado *in situ*, elementos prefabricados de concreto y vanos sucesivos.



↑ Es posible notar que la mayoría de los puentes rurales y urbanos presentan condiciones patológicas críticas, que ponen en riesgo la seguridad de la comunidad.
CORTESÍA CONCRETE DIAGNOSTICS

Patologías estructurales

La patología estructural es un campo de la ingeniería en edificaciones que estudia los orígenes, formas manifiestas, consecuencias y mecanismos de la ocurrencia de fallas y sistemas de daños en las estructuras. También forma parte de ella el área de la ingeniería que trata las patologías, incluyendo sistemas, mecanismos, causas y orígenes de fallas en obras civiles; es decir, estudia las partes que componen el diagnóstico del problema.

Las patologías estructurales que se presentan en los puentes varían en intensidad e incidencia, siendo causa muchas veces de altos gastos en reparaciones. En un aspecto similar, siempre existirán consideraciones estéticas y, a menudo, reducciones de la capacidad de resistencia, que a veces conducen a una falla estructural parcial o total. Dado el aumento constante de situaciones de patología estructural, las investigaciones en esta área buscan no solo la sistematización patológica, sino también el fomento de nuevos conceptos tecnológicos. Algunos conceptos nuevos, antes poco difundidos, son el desempeño, durabilidad, entorno, conformidad, ciclo de vida útil y mantenimiento.

El estudio de la patología estructural incluye el análisis detallado del problema con descripción de sus causas, formas de manifestación, mecanismos de ocurrencia, mantenimiento estructural y prevención de daños. Una correcta estimación del caso permite que el profesional comprometido defina una de las cuatro medidas de reparación ante una condición patológica. El patólogo es responsable de estudiar las correcciones y soluciones al problema. Existe un consenso que para alcanzar una alternativa correcta de aplicación de reparación, se debe realizar un estudio detallado indicando el diagnóstico real del origen de la patología. La Tabla 1 muestra las opciones a adoptar, según cada caso.

TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICA
Recuperación	Se entiende como recuperación la ejecución de procedimientos necesarios para recobrar la capacidad resistente y de soporte de la estructura.
Restauración	Es una intervención que solo restablece las condiciones estéticas de la estructura.
Reforzamiento	Corresponde a las actividades para aumentar la resistencia de la estructura o su capacidad de soporte.
Limitación de vida útil	Esta opción debe ser adoptada cuando el tratamiento de recuperación no es económicamente viable.
Demolición	Es el tratamiento extremo; puede variar desde la demolición parcial de la estructura hasta la completa demolición.

↑ Tabla 1. Tratamientos comunes para estructuras de concreto reforzado.

Patologías del concreto reforzado y pretensado

El concreto tiene naturaleza inestable a través del tiempo y presenta cambios químicos y físicos en sus características debido a las propiedades de sus componentes y a sus reacciones ante condiciones ambientales. Muchos factores influyen en el comportamiento final del concreto, y los más relevantes para la patología en estudio – dentro de las estructuras de concreto reforzado y pretensado– son: calidad del material, relación agua/cemento (a/c), medio ambiente, medidas y la calidad del proceso de construcción de la obra.

Causas de patologías en estructuras de concreto

Al analizar una estructura deteriorada es indispensable reconocer el origen de la patología junto con el correcto tratamiento que garantice la minimización de la patología de post-recuperación. Las causas del deterioro de las estructuras pueden dividirse en dos grandes grupos: intrínsecas y extrínsecas. Las intrínsecas son aquellas que residen en la estructura misma. Tienen su origen en los componentes y materiales de la estructura. Derivan de errores humanos durante la ejecución o la utilización, o de agentes naturales externos como ataques químicos o accidentes. Las causas extrínsecas son aquellas independientes de la estructura misma, ya sea por su composición o por fallas durante la ejecución. Pueden entenderse como factores que agreden las estructuras "de afuera hacia adentro" durante los procesos de concepción, ejecución o diseño de vida útil.



↑ Las causas intrínsecas residen en la estructura misma. Tienen su origen en los componentes y materiales de la estructura y derivan de errores humanos durante la ejecución.

FLICKR- WASHINGTON STATE DEPT OF TRANSPORTATION

Fisuras

La formación de fisuras en una pieza de concreto reforzado o pretensado se debe a la deformación provocada por la carga ambiental o mecánica, y puede tener origen en muchos factores: fisuras por deformación de tensión o compresión (estado crítico de leve colapso); fisuras originadas por esfuerzo cortante o torsión, que constituyen un estado crítico de leve colapso; fisuras causadas por desplazamiento del concreto; fisuras originadas por contracción; fisuras causadas por deformaciones de longitud, térmicas o higroscópicas; fisuras por deficiencia en el posicionamiento de equipo de soporte y detalles en las juntas de dilatación. Estas fisuras pueden presentar diferentes dimensiones y denominaciones.

Corrosión del concreto

En particular, la corrosión del concreto es el deterioro en que las reacciones producidas son químicas y no electroquímicas, y pueden ocurrir de tres maneras: lixiviación, reacción de iones y expansión. La microbiología es una causa importante de la corrosión en puentes y viaductos. La variabilidad genética y fisiológica de los microorganismos, especialmente en las bacterias, permite que determinados grupos se instalen y alteren ciertos tipos de estructura.

Corrosión del acero de refuerzo

Los ambientes agresivos, alta porosidad, alta capilaridad, deficiencia en el espesor del recubrimiento, materiales de construcción defectuosos y

fisuras severas son factores predominantes de corrosión en el acero reforzado.

Puesto que el concreto presenta una concentración alta de hidróxido de calcio, se produce considerable alcalinidad, con un $\text{pH} \geq 12,5$. El dióxido de carbono, responsable de la reacción de carbonatación, reduce el pH del concreto, despasivando el acero y facilitando el ataque de sustancias nocivas. La velocidad de penetración del frente de carbonatación está en función directa con la permeabilidad y el agrietamiento del material. La relación a/c , que determina la permeabilidad específica del concreto y el espesor de la capa de cubierta, puede influir en la velocidad de carbonatación.

La carbonatación puede ser significativa en estructuras asentadas en ambientes industriales y que están expuestas a ciclos de humedecimiento y secado. Una medida preventiva y correctiva es la protección catódica con ánodos de protección. Sin embargo, la adecuada concepción y determinación de los sistemas de protección catódica, así como la correcta inspección periódica de los ánodos, adquieren gran importancia para la eficiencia y desempeño de un sistema de protección. Esta inspección deberá considerar el diseño de vida útil, porque con el sistema en operación, los ánodos van a desgastarse hasta consumirse, permitiendo el desarrollo de procesos corrosivos.

Reacciones químicas

Además de las reacciones químicas necesarias para la hidratación de los componentes del concreto —que inducen a deformaciones por encogimiento— pueden existir reacciones nocivas, como las expansivas. Las más comunes de este tipo son: reacción alcalina del agregado, reacción alcalina dolomita, feldespato calcio-sódico, y ataque de sulfatos.



↑ Las reacciones nocivas más comunes son: reacción alcalina del agregado, reacción alcalina dolomita, feldespato calcio-sódico, y ataque de sulfatos.

© ALEXLITTLEWOOD1993

Impacto y fuego

La colisión de un vehículo contra las estructuras de un puente provoca cargas extremas y elevadas difíciles de dimensionar, causando deformación aguda y daños como el desprendimiento del recubrimiento y la exposición de la barra de acero reforzado, lo que exige un programa de protección para las reparaciones respectivas.

En las estructuras de concreto reforzado y pretensado, la acción del fuego es altamente nociva. El calentamiento del material hace aumentar su volumen y genera enormes esfuerzos internos que provocan deformación, fisuras y colapso del concreto. El grado de alteración que puede producir la acción del fuego sobre un concreto y sus componentes dependerá principalmente del nivel de temperatura alcanzado, del tiempo de exposición y de la composición de la mezcla. Un concreto más permeable otorgará menor nivel de deterioro que uno más compacto, ya que contiene vapor de agua retenido en los capilares y vacíos de la matriz.

Deterioro del concreto pretensado

Los elementos del concreto pretensado también pueden sufrir con las acciones nocivas de factores bien conocidos y cuantificados: pérdida de adherencia entre el acero tensado y el concreto, relajación del acero pretensado, retracción del concreto, corrosión por deformación del concreto bajo tensión del acero pretensado, deficiencia de la barra de acero de refuerzo pasiva en el anclaje, entre otros.

Patologías de las estructuras de puentes

El correcto diagnóstico de las patologías revelará no solo las causas, sino también los responsables de ellas. El diagnóstico de cualquier tipo de patología debe sustentarse en un análisis profundo de la estructura y en el conocimiento adecuado de los mecanismos de formación y manifestación de las patologías.

A continuación se describe el estudio de algunos puentes de vías urbanas y rurales en Campinas, Brasil.

Puente 1

Ubicado en la calle Antonio Zaine, en el distrito de Barao Geraldo, el puente soporta tránsito de vehículos de todo tipo y durante el día el flujo de tráfico es muy intenso debido a su proximidad con una institución educativa. La luz es pequeña, de solo 7,5 m, pero su ancho total es de 14 m, incluyendo dos pasos peatonales de 3 m cada uno.

La junta presenta grandes deformaciones en diversas partes, lo que indica que la presión de la tierra adyacente es mayor que la capacidad de resistencia. Además de la deficiencia patológica, el estado de conservación de los contrarrieles y del pavimento del puente son deficientes. El drenaje del puente es insuficiente.

El avanzado grado de fisuración indica un esfuerzo excesivo. Esta patología puede perjudicar a la comunidad, especialmente a los estudiantes de la escuela cercana, motivos por los cuales se recomendó una intervención para fortalecer los apoyos. Las otras patologías, como la corrosión en refuerzos de elementos de protección y el avanzado deterioro del pavimento, son aspectos que exigen un adecuado tratamiento. Se debe considerar inspección y mantenimiento frecuente a la estructura, una vez finalizadas las respectivas reparaciones.

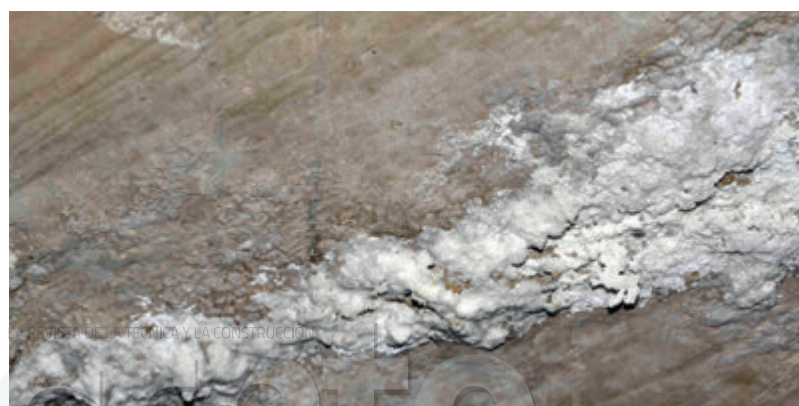
Puente 2

Construido sobre el río Atibaia, en el distrito de Sousas, el puente es la conexión principal entre dos distritos, sin mencionar que es la mejor ruta para llegar al distrito de Joaquim Egidio. Es paso constante de vehículos, buses y camiones.

La estructura es de concreto reforzado y se divide en dos partes. El tablero cubre una luz de 38,2 m y está soportado por un pilar central ubicado en el medio del río. Los carriles para tráfico tienen ancho de 6,2 m, y cuenta con vigas de acero para soportar las aceras peatonales, cuyo ancho aproximado es de 2 m y fueron construidas con tablas de madera.

En la parte inferior del puente, las vigas longitudinales se observan con una creciente variación en la sección de los anclajes (variación por mayor esfuerzo de cizalladura en estos puntos) y las vigas transversales están fundidas monolíticamente a una losa del tablero.

Entre las patologías se encuentra la excesiva vibración del puente. Se observa que la posible lixiviación del concreto puede obedecer principalmente a la permeabilidad del material y a drenaje deficiente. También se encontró desprendimiento del concreto debido a la corrosión de acero reforzado, y la losa de concreto también presenta desgaste considerable.



Entre las patologías se encuentra la excesiva vibración del puente. Se observa que la posible lixiviación del concreto puede obedecer principalmente a la permeabilidad del material y a drenaje deficiente.

WIKIMEDIA- ACHIM HERING

Este puente forma parte del patrimonio de la ciudad de Campinas y constituye un riesgo para la población, por lo cual se recomendó un mantenimiento inmediato. La corrosión de los perfiles de metal exige un tratamiento con sustrato para remover partes corroídas e impurezas, así como la aplicación de pinturas anticorrosivas en las secciones donde hay que reemplazar el material.

Conclusiones

La investigación entrega información de extrema importancia para la ingeniería civil, en especial para el mantenimiento de la infraestructura de caminos en un país en vías de desarrollo que necesita mejorar sus medios de transporte a fin de incrementar sus exportaciones y beneficiar la economía. Este factor podría contribuir a elevar el bienestar de la población.

Finalmente, se concluye que la prevención es la mejor manera de evitar patologías. El mantenimiento preventivo se apoya no sólo en un diseño acertado y una implementación correcta acorde con parámetros de calidad, sino también por un programa de mantenimiento estructural.

Bibliografía

- Ingeniero Nilson Tadeu Mascia Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, Brasil.
- Ingeniero Artur Lenz Sartorti. Centro Universitário Adventista de Sao Paulo (UNASP), Brasil.
- ABNT NBR 7187 (2003), Reinforced and pre-stressed concrete bridge design, Rio de Janeiro.



XIV

**expoconstrucción
expodiseño 2017**

**Del 16 al 21 de mayo en Corferias
Bogotá, Colombia.**

CONSTRUYENDO EL FUTURO CON IDEAS DE HOY

Viva la experiencia de Expoconstrucción y Expodiseño.
El escenario ideal para generar negocios, promover
el desarrollo del sector y conocer de primera mano las
actualizaciones de una industria más sostenible.



**Agenda
Académica**



**Muestra
comercial**



**Escenarios
de Networking**

expoconstruccionyexpodiseño.com



Patrocina:



Apoyo Institucional:



Apoya:



Copatrocin:



Organiza:



*"La patología del concreto,
una disciplina compleja y desafiante":*

Paulo Helene, Presidente de Honor de Alconpat International

El ingeniero Paulo Helene, es doctor en ingeniería de la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Es un reconocido investigador y consultor internacional en el área de estructuras de concreto, durabilidad, sostenibilidad, dosificación, ensayos, control, concretos especiales y de altas prestaciones, diagnóstico de problemas patológicos y rehabilitación. Trabajó en obras públicas y en 1976 hizo en España el Curso de Estudios Mayores de la Construcción del Instituto Eduardo Torroja, cuyo tema era "Patología de las Construcciones". Con esa especialidad se vinculó como investigador al Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo y como profesor en la Escuela Politécnica de su universidad. Allí se jubiló con el máximo grado académico, el de Profesor Titular. Tiene posdoctorado de Berkeley, California, y es autor de muchos artículos en revistas especializadas, ponencias en congresos, y miembro de organismos técnicos, entre ellos Alconpat International, entidad de la cual es Presidente de Honor.



↑ Paulo Helene, doctor en ingeniería por la Universidad de Sao Paulo, Brasil.
CORTESÍA CONCRETO PHD

Al lado del equipo del Instituto Eduardo Torroja en Madrid —narró para Noticreto— “me encanté con la complejidad de la Patología de las Construcciones e intenté aprender de ellos. Soy el primer especialista en Brasil en patología y en 1979 impartí el primer curso de patología en el país. Años después esa disciplina fue introducida en nuestro curso de pregrado de la USP. He supervisado muchas tesis de doctorado sobre patología y también he publicado libros sobre patología y rehabilitación de estructuras de concreto, algunos de ellos en español en Colombia, España y México.” Así comenzó un diálogo generoso de su parte.

¿Desde cuándo busca la humanidad construir estructuras durables?

He descubierto, encantado, que nuestra profesión empezó exactamente bajo el concepto de la durabilidad. La primera vez en la historia que un ser humano fue llamado arquitecto fue en el Egipto antiguo, por el año 2790 antes de nuestra

era. Imhotep era un alquimista del faraón Djoser y era especialista en conservar para la eternidad los cuerpos de los dignatarios muertos. Descubrió y perfeccionó sustancias y procedimientos para preparar momias. En determinado momento de su gloriosa vida cayó en cuenta de que los mausoleos que abrigaban las urnas con las momias duraban menos que las propias momias porque eran de arcilla, cerámica y madera, materiales de poca durabilidad. Entonces se propuso utilizar las rocas, y diseñó y construyó la primera pirámide de Egipto, la pirámide escalonada de Djoser en el valle de Sakkara. Después de cinco mil años todavía sigue allí, grandiosa e histórica, como un bello ejemplo de la capacidad humana de edificar obras durables.



↑ La pirámide escalonada de Djoser en el valle de Sakkara. Después de cinco mil años todavía sigue allí, grandiosa e histórica, como un bello ejemplo de la capacidad humana de edificar obras durables.

WIKIMEDIA - ALBERTO-G-ROVI

¿Cuál fue el mayor avance en el último siglo?

Sin duda, la llegada del cemento Pórtland en el siglo XIX, que ha permitido las construcciones en concreto armado desde comienzos de los años 1900. Posteriormente amplió sus límites el descubrimiento del concreto pretensado en 1927. Las rocas se habían utilizado desde la antigüedad y la gran Revolución Industrial del siglo XVIII hizo posibles las estructuras metálicas, pero el concreto ha superado todas las expectativas y su gran versatilidad lo ha transformado en el material industrial más consumido en la actualidad en kilogramos por cápita en el mundo.

¿Y dentro de dos mil años será posible ver obras que se construyen hoy en día?

Hay un video hecho por The History Channel, denominado América Latina sin Nadie, sobre lo que pasaría con las construcciones si toda la población humana desapareciera repentinamente y las obras quedaran sin mantenimiento. En el video participo como entrevistado, y allí afirmo que sí, que dentro de 200 a 2.000 años van a perdurar muchas de las grandes obras de hoy. Es natural, porque el hombre ha descubierto una forma rápida de fabricar rocas durables. Hoy somos capaces de producir en solo 28 días, casi por milagro, una roca artificial, el concreto, con propiedades muy similares a las de las rocas naturales que han tardado millones de años en formarse.

Un concreto con relación a/c por debajo de 0,3 tiene resistencia por encima de 100 MPa y durabilidad del mismo orden que una roca natural de granito o de basalto. Lo comprueba el concreto de la cubierta de la cúpula del Panteón de Roma que, después de dos mil años de construido, todavía nos sigue encantando con su gran durabilidad y belleza. A lo largo de los siglos la humanidad se dio cuenta de que son pocos los materiales adecuados para construir grandes estructuras: rocas, acero y concreto. Entre ellos el concreto es el más sostenible, económico y versátil y puede ser el más durable siempre que se haga un buen diseño estructural y una correcta dosificación y control.

"Hoy somos capaces de producir en solo 28 días una roca artificial con propiedades muy similares a las de las rocas naturales que han tardado millones de años en formarse."



↑ Burj Khalifa, actualmente récord mundial en altura y bombeo de concreto.

WIKIMEDIA - DONALDYTONG

¿Cómo puede la llamada ingeniería preventiva prolongar la vida útil de las estructuras de concreto?

La ingeniería preventiva es un concepto casi natural en diversas ingenierías como la de autos, la aeronáutica, la naval, la eléctrica y mecánica de máquinas industriales, pero curiosamente no lo es en la ingeniería civil. Construir es tan viejo como el Homo sapiens, pero conservar o hacer ingeniería preventiva todavía está lejos de incorporarse a lo cotidiano de la gente. Hoy día, poco a poco, las construcciones se entregan con un manual de operación y mantenimiento que orienta a los usuarios en la prevención de problemas patológicos y de accidentes. Pocas personas se dan cuenta de que la Torre Eiffel en París está sometida a un ciclo de siete años, donde cinco son de uso y dos de mantenimiento, con intervenciones preventivas y correctivas y protección exterior siempre renovada. Todas las estructuras —unas más, y las de concreto menos— necesitan de ingeniería preventiva para lucir bien y ser funcionales por muchos años. Los edificios modernos, con estructuras mixtas o compuestas de acero y concreto, van a demandar cada vez más programas de mantenimiento y conocimiento preventivo del ciclo de vida de las obras.

De todas maneras, en la actualidad hay una herramienta muy fuerte para establecer el impacto de las obras. Ellas permiten comparar diversas opciones tales como hacer una alta inversión inicial o invertir menos e implantar políticas de mantenimiento más onerosas pero que van a ser útiles a lo largo de los años. La idea siempre es determinar desde el comienzo una expectativa de vida útil de proyecto, que puede variar entre 50 y 120 años. Después, durante ese periodo, hay que analizar desde el proyecto y la construcción, pasando por el uso y el mantenimiento hasta la demolición y destinación de los residuos. Son estudios complejos, pero esa herramienta va servir cada vez más y mejor a la sociedad y a la ingeniería.

“Los edificios modernos, con estructuras mixtas o compuestas de acero y hormigón, van a demandar cada vez más programas de mantenimiento preventivo.”

¿Por qué la rehabilitación de edificios es un tema social?

Consideremos que las actividades y estudios de patología son los que hacen posibles los buenos proyectos de intervención preventiva y correctiva. En ese aspecto, la rehabilitación de estructuras antiguas para modernizarlas o para cambiarlas de uso es, en definitiva, una operación social. Con estudios de inspección y diagnóstico de problemas, los edificios abandonados y viejos pueden ser rehabilitados con evidentes beneficios sociales, tanto para los usuarios como para su entorno, transformando el escenario muerto en obras nuevas y dinámicas.



↑ La Torre Eiffel en París está sometida a un ciclo de siete años, donde cinco son de uso y dos de mantenimiento, con intervenciones preventivas y correctivas y protección exterior siempre renovada.

WIKIMEDIA- MARIANNE CASAMANCE

Construcción rápida y construcción durable. ¿Son conceptos opuestos?

La respuesta es compleja. Construir una obra durable consume el mismo tiempo que una no durable. Pero hay que considerar el tiempo total: el tiempo que se invierte en detallar y desarrollar el proyecto de arquitectura, el del diseño estructural, el de detallar el plan de operaciones, el de elegir los equipos mecánicos y herramientas, el de entrenar a los obreros, el de ensayar prototipos, el de la ejecución propiamente dicha. Hay profesionales que no dedican tiempo a cada una de las etapas creyendo que con eso van a reducir el tiempo total. Empiezan las obras sin planear, sin proyectos detallados y a veces inacabados, sin entrenar obreros, pero lo que obtienen son obras más demoradas, sin hablar de los problemas patológicos o de baja durabilidad. Los chinos son maestros en presentar en Internet construcciones rapidísimas, realizando en tres meses lo que se hace en quince, pero eso es una distorsión de la realidad porque no muestran el verdadero tiempo que han invertido en todo el proceso. Tardan lo mismo que otras obras convencionales y durables.

¿Cuáles son las condiciones más importantes para proteger las obras de concreto?

Hay una verdad técnica muy conocida, la Regla de las 4 C: la primera es la composición del concreto y el control adecuado de la relación agua-cemento; dos, una compactación fuerte y adecuada; tres, el curado efectivo y oportuno y, por último, el cubrimiento mínimo de las armaduras.

En el diseño estructural también es fundamental saber aplicar los conceptos de estructuras redundantes y robustas que reduzcan o eviten colapsos. En cuanto a la protección, hay la protección superficial a base de hidrofugos y pinturas, y protecciones superiores en muros tipo chapims. El agente agresivo más importante de la naturaleza es el agua, y si viene contaminada con cloruros o es lluvia ácida, el ataque químico al concreto es más intenso. Por lo tanto, el secreto es mantener el concreto lejos del agua o, al contrario, totalmente sumergido. Los concretos secos y los sumergidos son extremadamente durables. Los que están sometidos a ciclos de humedad y sequedad, o de hielo y deshielo, se deterioran más rápidamente.

¿Cómo se relacionan la sostenibilidad y la patología de estructuras?

No se trata simplemente de corregir un problema patológico, sino también de considerar los aspectos periféricos del problema. En el mundo se invierten incontables recursos en mantenimiento de construcciones. Se considera que cerca del 60% de la inversión en construcción de infraestructura civil se destina a obras nuevas y 40% a mantenimiento. Otras estadísticas indican que, por ejemplo, del 2% al 5% de la inversión anual en puentes viales debe destinarse al mantenimiento y la ingeniería preventiva. ¿Cuánto les cuesta a ciertas comunidades el colapso parcial o total de un puente importante? ¿Cuánto significa para la salud la paralización de una planta de tratamiento de aguas negras para reparar las paredes o los cimientos? ¿Cuánto se desvaloriza un inmueble urbano si colapsa una parte del revestimiento de fachada o si los cimientos presentan reacción álcali-agregado después de pocos años? Entonces, el estudio de los problemas patológicos—su origen, sus mecanismos, su corrección y principalmente su prevención—están directamente relacionados con la importancia que tiene el ambiente construido para el funcionamiento y la calidad de vida de una sociedad.

¿Llegará el momento en que los ensayos sean no destructivos?

Curiosamente, la industria de la construcción—y con ella las estructuras de concreto—son muy tradicionales, conservadoras. Eso es positivo porque nos coloca del



↑ El desarrollo de la construcción sigue dando pasos y hoy están disponibles muchos equipos para controlar la corrosión del acero y detectar diferentes patologías en estructuras de concreto.

© PROCEQ

lado de la seguridad, pero por otro lado frena los desarrollos o los hace caminar más despacio. En medicina, un aparato de ultrasonido permite conocer el sexo de un niño, pero en el concreto ni siquiera conseguimos determinar el diámetro y el recubrimiento de las armaduras o, peor aún, si hay mucha armadura en dos o tres capas. La diferencia es que en el consultorio de cada ginecólogo hay un aparato de ultrasonido, mientras que tal vez uno de cada cien mil ingenieros va adquirir uno. Por lo tanto, no hay estímulo fuerte para desarrollar y comercializar equipos para ingenieros civiles. Otro ejemplo: la reología del concreto se conoce desde los años 1950 y en todo el mundo se sigue utilizando el asentamiento del cono de Abrams, que se propuso en 1918 para medir la consistencia del concreto fresco, cuando existen muchos reómetros desarrollados para ese fin. A pesar de esa inercia, el desarrollo de la construcción sigue dando pasos y hoy están disponibles muchos equipos para controlar la corrosión del acero, equipos de concepto magnético para identificar posición de armaduras, esclerómetros con registros automáticos, sensores para medir tensiones, deformaciones y giros. Se avanza, pero a velocidad muy inferior a la medicina.

Un consejo, por favor

No podemos olvidar que los estudios de patología exigen que los profesionales involucrados tengan gran capacidad de sintetizar los conocimientos de ingeniería de materiales, cimentación, estructuras, química y física, que se integren a equipos interdisciplinarios y que tengan una visión del total y de cada una de las partes para considerar todos los aspectos en juego. Tal vez es por esa desafiante complejidad que la patología del concreto es una disciplina que despierta tanto interés en los profesionales.

Riesgos patológicos del concreto en el continente americano

Ing. Francisco Gladston Holanda
Holanda Engenharia, Brasil

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN
Noticreto

↑ Las estructuras actuales construidas en concreto están expuestas a diferentes agentes que afectan el material y ataques químicos o físico-químicos aceleran los procesos de deterioro de las estructuras.

CORTESIA HOLANDA ENGENHARIA

En este artículo enumeramos las principales patologías que pueden ocurrir en la construcción de obras de concreto con potencial de ocurrir en la mayoría de los países andinos. Hoy en día, más y más concretos están expuestos a los ataques químicos o físico-químicos que aceleran los procesos de deterioro de las estructuras de concreto con cemento hidráulico. Las adiciones de naturaleza puzolánicas, usadas como parte del material cementante en las mezclas de concreto de cemento hidráulico incrementan sustancialmente la vida útil y la protección de las estructuras contra los ataques destructivos de agentes internos o externos.

Los productos químicos de cristalización de la capilaridad del concreto y otros tipos de protección –por ejemplo, las membranas en forma de pintura– han demostrado gran eficacia para prolongar la durabilidad del concreto. En este documento se aborda específicamente el caso del cemento y sus adiciones de naturaleza puzolánica.



↑ Agentes principales que afectan la durabilidad del concreto.

Como agresores externos se pueden enumerar: lluvia ácida, penetración del CO₂ del ambiente, entornos con altos niveles de cloruros y sulfatos, combinaciones adversas de la temperatura del aire, variaciones de la humedad del aire y de los vientos incidentes.



↑ Ataque de cloruros y sulfatos.
FLICKR- JOHN HASLAM

En particular, en los entornos de hielo y deshielo, como ocurre con frecuencia en la cordillera Andina, lo que crea condiciones de degradación aún más severas en estructuras de concreto.

Bajo condiciones de congelación, el agua atrapada dentro del concreto se convierte en hielo y se expande creando grietas. Cuando el hielo se derrite, el agua penetra aún más dentro del concreto, donde se repite el mismo ciclo de hielo/deshielo.



↑ Patología por ciclos de congelamiento y descongelamiento.
© EDUARDO MARTÍNEZ CORREGIDOR

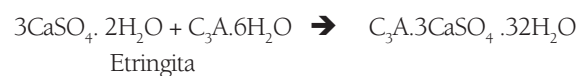


↑ Testigo de concreto convencional sometido a ensayo de compresión luego de someterlo a ciclos de hielo deshielo durante 3 semanas.
CORTESÍA MYMASON



Como agresores de carácter interno del concreto podemos citar los contenidos de álcalis solubles derivados de los materiales de la mezcla de concreto, procedentes principalmente del cemento y por origen en los efectos de la elevación de temperatura adiabática del concreto con potencial de generación de agrietamiento en el concreto masivo, además de la formación etringita tardía.

Reacción típica de la formación de la etringita:



Para controlar y evitar la formación de la etringita tardía se recomienda que el C_3A del cemento sea menor que 8,0% y el contenido de SO_3 inferior a 2,6%. Se aconseja preferiblemente usar cementos adicionados, bien sea con puzolanas calcinadas, cenizas volantes, microsílíce, escoria de alto horno o metacaolín. La experiencia práctica en varios países demuestra que tales adiciones inhiben la formación de etringita tardía. Igualmente, debe evitarse que la temperatura máxima del concreto sobrepase 65 °C (algo que puede ocurrir en vaciados masivos de concreto, donde la dimensión más pequeña de la pieza del vaciado excede 1,20 m).

↑ Puente en la Región Andina
– Concreto (región de hielo/
deshielo).
WIKIPEDIA - MG4 2017



➔ Fisuras producidas por
ciclos de hielo/deshielo.
© PSR INDUSTRIAL FLOORING LTD.

Por otra parte, en la construcción de obras, se extiende cada vez más la exigencia de elevada vida útil, algunos proyectos estableciendo edad mínima de cien años como requisito contractual de aceptación de elementos de concreto producidos. Para garantizar este objetivo, la práctica moderna ha acudido a controlar las propiedades de resistencia a la penetración de cloruros, coeficiente de resistividad eléctrica, y también definir con precisión el recubrimiento mínimo de la armadura de acero estructural.

Un ejemplo de una estructura de concreto con la longevidad de cien años es el puente que une las ciudades de Río de Janeiro y Niterói en Brasil. Fue construido hace 42 años y por medio de la verificación de la migración de cloruros, verificación de la resistividad eléctrica y del recubrimiento del acero se concluyó que responde a un tiempo de vida útil de cien años. Para esta construcción se utilizó cemento adicionado, en este caso con escoria de alto horno.

A estas demandas se añade el compromiso con el medio ambiente en el control y la limitación de las emisiones de CO₂ como requisito adicional de los materiales de construcción. Es una práctica cada vez más común que todos los proveedores de

materiales estén precalificados con el compromiso de la sostenibilidad y con el medio ambiente.

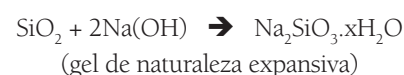
Para hacer frente a este tipo de condiciones especificadas con el intento de maximización de la durabilidad de las estructuras de concreto, las mejores decisiones pasan, sin duda, por la aplicación de mezclas de concreto formuladas con adiciones puzolánicas al cemento, tanto en la molienda junto con el clínker, sumado de forma gravimétrica al cemento o incluso mediante la adición al cemento por separado. Cuando se trata de los efectos del manejo con puzolana, la reducción de CO₂, corresponde a casi 50% de disminución de emisión, si se compara con el cemento tipo I.

El deterioro debido a la naturaleza expansiva del concreto causada por reacción álcali-agregado (RAA) se manifiesta de diversas maneras, siendo más común la ocurrencia de grietas a manera de mosaico con formación de gel sobre la superficie expuesta.

Actualmente, muchos países señalan problemas RAA, con mayor incidencia en climas cálidos, en presencia de alta humedad.

En los últimos 40 años los investigadores prestan creciente atención a identificar las causas y los factores que contribuyen a la reacción, además de la incesante búsqueda de métodos más eficientes para identificar el RAA con la mejora de los métodos de prevención.

Típicamente, la reacción álcali-agregado puede explicarse con la siguiente ecuación química:

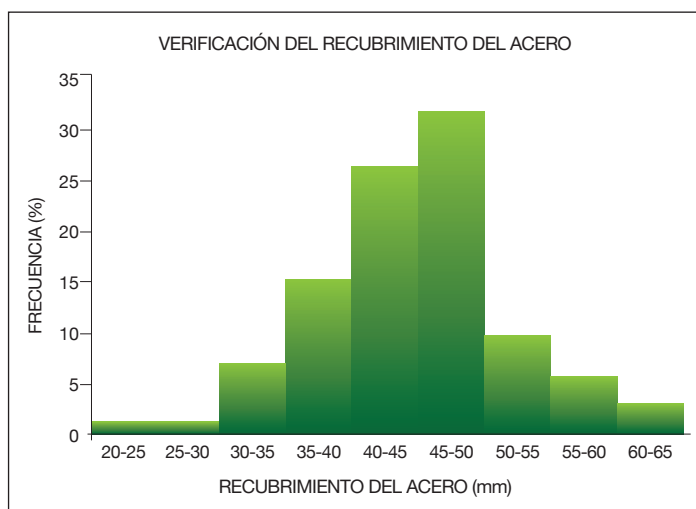


La RAA se genera por la reacción entre el poro solución alcalina del cemento y la sílice reactiva presente en el agregado. La presencia de Ca (OH)₂ libre, que se genera en la hidratación del cemento en la masa de concreto, es un requisito previo para que ocurran las reacciones expansivas. Con el aumento de volumen en presencia del agua se produce un gel que ejerce una presión de naturaleza expansiva, lo cual origina fisuras internas en el concreto.

A través de la reacción producida por una adición de material puzolánico, normalmente se fija Ca (OH)₂, de manera irreversible, antes que los sulfatos (SO₄), dióxido de carbono (CO₂) y álcalis solubles como Na⁺ puedan reaccionar, causando en las estructuras expansiones que limitan la vida de la estructura, o incluso limitando la vida del concreto. Por otro lado, las puzolanas reducen aún más la permeabilidad del concreto, debido a su capacidad de refinación de la red de capilares en el concreto y también, en efecto se suma a la dilución del contenido de C₃A generado en el proceso de hidratación del cemento. La reactividad potencial de tipo alcalino-agregados se ha identificado a lo largo y ancho del continente americano, con especial énfasis de ocurrencia en Canadá.



→ Puente Río-Niterói (Río de Janeiro – Brasil).
CORTESÍA HOLANDA ENGENHARIA



→ Recubrimiento del acero estructural.
CORTESÍA HOLANDA ENGENHARIA

CORTESÍA ARGOS



Argos presenta el Cemento Uso Mampostería Tipo S

El Cemento Uso Mampostería Tipo S es uno de los nuevos productos del Negocio Industrial de Argos. Está diseñado y fabricado bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 4050 para producir morteros de mampostería para uso en pega y pañete. Se trata de una mezcla de clínker, materiales plastificantes (cal hidratada o caliza) y aditivos incorporados para mejorar la trabajabilidad del mortero, el contenido de aire y la retención de agua, todo desde su fabricación en una planta cementera. Según la empresa, con este producto se resolverán principalmente dos problemas: la trabajabilidad del mortero convencional, que tiene una retención de agua y un contenido de aire muy bajos que no favorecen la ubicación y alineación de las unidades de mampostería y además, generan rebote en la aplicación de pañete o revoque; y el manejo de aditivos, sustancias químicas e inventarios y errores en la dosificación del aditivo, sobrecostos de almacenamiento y compra de aditivo. Por su resistencia y contenido de aire, no es un cemento para uso estructural. Debe ser utilizado exclusivamente para aplicaciones de pega y pañete.

La ingeniería colombiana reconocida en la Convención de Primavera del Instituto Americano del Concreto

Recientemente se llevó a cabo en Detroit, Estados Unidos, la Convención de Primavera del Instituto Americano del Concreto (ACI), donde la entidad reconoció a profesionales y empresas por su contribución y dedicación a la entidad y a la industria del concreto. En esta oportunidad se entregó la mención de Miembro Honorario, el más alto honor de ACI, al ingeniero Luis Enrique García *"por su destacado liderazgo como primer presidente internacional de la entidad, sus contribuciones a la enseñanza e investigación sobre el diseño de estructuras de concreto reforzado, sus muchos años de servicio en el Comité del Reglamento para Concreto Estructural, y como enlace entre el ACI Internacional y organizaciones en numerosos países de Centro y Sur América"*.

Además se entregó a la seccional Colombiana del ACI el reconocimiento Henry L. Kennedy, *"por cuatro décadas de contribución en la difusión del conocimiento del concreto y buenas prácticas en Colombia y la región"*.

➔ De derecha a izquierda: Mike Schneider, Presidente 2016-2017 de ACI International, Juliana González, Presidente de la Seccional Colombiana del ACI y Omar Javier Silva R, Director Ejecutivo de la Seccional Colombiana del ACI, y Jefe de Publicaciones de Asocreto.

ARCHIVO ASOCRETO



↑ El ingeniero Luis Enrique García recibiendo el premio como Miembro Honorario de ACI International.

ARCHIVO ASOCRETO



La convocatoria está abierta: Premio Vivir en Concreto

La Federación Interamericana del Cemento (FICEM) y la Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado (FIHP), a través de su Comité de Vivienda y Urbanismo, convocan a la primera edición del premio "Vivir en Concreto", el cual busca Reconocer la capacidad profesional, creativa e innovadora de los estudiantes de las universidades de Iberoamérica y el Caribe, para presentar propuestas relacionadas con la construcción de viviendas de interés social que tengan como material principal al concreto (ya sea vertido en el sitio, prefabricados o bloques de concreto) o materiales a base de cemento (morteros, suelo cemento, entre otros). Las propuestas inscritas deben destacar por su calidad, innovación, desempeño, economía, versatilidad y estética; así como, la optimización de recursos, ahorro energético, conservación y protección del entorno físico y del medio ambiente, su impacto positivo sobre la economía y la sociedad. Podrán participar estudiantes de arquitectura, construcción e ingeniería civil de universidades de Iberoamérica y el Caribe que estén cursando los dos últimos años de la carrera o realizando su tesis o trabajo de graduación. Los participantes del concurso podrán presentar sus propuestas de manera individual o en grupo de dos personas. Para conocer más información de este concurso, contáctese a premio-vivirenconcreto@ficem.org.



Línea de atención al cliente:
(57 - 1) 472 2000 en Bogotá
01 8000 111 210 a nivel Nacional

www.4-72.com.co

El servicio de **envíos**
 de Colombia





Manténgase informado y actualizado en todo lo relacionado con **el Cemento, el Concreto y los Prefabricados**

LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Noticreto

La revista de la técnica y la construcción



Información práctica sobre las últimas tecnologías de construcción en concreto, en ediciones temáticas de circulación bimestral.

Suscríbase en contactcenter@asocreto.org.co

Instituto del Concreto

Actualización y capacitación en tecnología del concreto



Seminarios, jornadas y visitas técnicas, dirigidos a Entidades, Gremios y Universidades; con conferencistas de amplio reconocimiento y experiencia en el medio.

Más información: instituto@asocreto.org.co

Laboratorio del Concreto

Control y aseguramiento de la calidad abierto a toda la industria y el sector de la construcción del país



Más de 30 ensayos acreditados por el ONAC en las áreas de Concretos y morteros, Agregados y materiales granulares, Cementos y adiciones, Prefabricados, Patología Estructural, Química, Metrología, Suelos y Pavimentos.

Más información: laboratorio@asocreto.org.co

Boletines Virtuales

Novedades, información técnica y eventos del sector

Suscripción gratuita en nuestra página web



- Arquitectura en concreto
- Sostenibilidad & Concreto
- Infraestructura y Pavimentos
- Vivienda y Edificaciones
- Prefabricados de concreto

Más información: osilva@asocreto.org.co



El máximo evento de la construcción sobre concreto, cemento y prefabricados

Cada dos años se convierte en el punto de encuentro de profesionales de ingeniería y arquitectura, constructores, directores y residentes de obra, interventores, consultores, empresarios, estudiantes y técnicos; gremios y entidades nacionales e internacionales, reunidos en torno a la actualización, negocios, contactos comerciales y actividades sociales de integración y encuentro.

Más información: reunion@asocreto.org.co

Publicaciones

Información y actualización sobre temas del sector de la construcción en concreto

Somos distribuidores de:



- BÁSICAS
- TÉCNICAS
- ESPECIALIZADAS

Más información: contactcenter@asocreto.org.co

Biblioteca del Concreto



American Concrete Institute
Always advancing



INTERNATIONAL
Standards Worldwide
Online Center

Más de 40.000 documentos para consulta especializados en el concreto y sus aplicaciones, además de temas afines como la construcción y la arquitectura entre otros.

Horario: Lunes a viernes de 8:30 a.m. a 12:30 p.m.

Catálogo en línea en
<http://www.asocreto.org.co/biblioteca/>

Más información: doc@asocreto.org.co

Publicaciones

Información y actualización sobre temas del sector de la construcción en concreto



de descuento



Valor total por los 2 libros

\$65.000

Oferta válida hasta el 30 de abril de 2017

- Construcción, Interventoría y Supervisión Técnica de las Edificaciones de Concreto Estructural

Precio Normal \$ 75.000

- Manual Práctico de Supervisión de Estructuras de Concreto, 2da. edición

Precio Normal \$ 32.000

Más información:
contactcenter@asocreto.org.co

Calle 103 No. 15 - 80, Bogotá-Colombia
PBX: (+571) 618 0018
FAX: (+571) 756 0990
Correo electrónico: asocreto@asocreto.org.co
www.asocreto.co



EVENTOS ASOCRETO

JORNADAS

Problemas y Soluciones en el Manejo del Concreto en Obra. Evite Problemas en su Obra

Bogotá: 26 de abril de 2017

Medellín: 28 de abril de 2017

Cali: 12 de julio de 2017

Barranquilla: 14 de julio de 2017

CONGRESO

Semana Internacional de la Patología de Estructuras de Concreto

6 al 9 de junio de 2017

Bogotá

CURSOS

Análisis de Ensayos de Laboratorio. Módulo Materiales

24 al 28 de abril de 2017

Bogotá

Curso Jefe de Laboratorio de Materiales

25 de mayo de 2017

Bogotá

Curso Análisis de Ensayos de Laboratorios. Módulo Concretos y Morteros

20 al 23 de junio de 2017

Bogotá

MAYOR INFORMACIÓN: www.asocreto.co

OTROS EVENTOS

Congreso BIBM 2017

17 al 19 de mayo de 2017

Organiza: BIBM & IPHA

Madrid - España

Mayor información: <https://bibm.cpi-worldwide.com/es/>

Expoconstrucción y Expodiseño 2017

16 al 21 de mayo de 2017

Bogotá - Colombia

Mayor información: <http://expoconstruccionyexpodiseno.com/?i=1> y www.asocreto.org.co

Servicio al cliente: (+5 71) 618 0018 / (+5 71) 756 0990
servicioalcliente@asocreto.org.co / Bogotá, Colombia

ANTE LA PATOLOGÍA
AVANZADA DE ESTA
ESTRUCTURA TOMAMOS UNA
MEDIDA DRÁSTICA PARA
EVITAR SU COLAPSO...





PATOLOGÍAS MÁS COMUNES EN MUROS DE CONTENCIÓN DE CONCRETO

ILUSTRACIÓN: LUIS EDUARDO LEÓN

¿CUÁLES SON LAS CAUSAS DE LAS FALLAS EN MUROS DE CONTENCIÓN DE CONCRETO?

PUEDEN PRESENTARSE DEBIDO A AGENTES QUÍMICOS, ACCIONES FÍSICAS DERIVADAS DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS

POR LA NATURALEZA DE LAS FUERZAS Y ERRORES DE DISEÑO O DE CONSTRUCCIÓN, ENTRE OTROS.

HOLA JOSÉ. ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES TIPOS DE MUROS DE CONTENCIÓN EN CONCRETO?

HOLA SOFÍA. EXISTEN CUATRO TIPOS DE MUROS DE CONTENCIÓN:

MUROS POR GRAVEDAD, SEMI-GRAVEDAD, PANTALLA O VOLADIZO Y CONTRAFUERTE.



¿CÓMO SE PUEDEN DETERMINAR LAS PATOLOGÍAS EN LOS MUROS DE CONTENCIÓN?

ES NECESARIO CONOCER Y ANALIZAR DETENIDAMENTE LAS CONDICIONES BÁSICAS

DE SEGURIDAD CONTRA DESLIZAMIENTO, CONTRA VOLCAMIENTO Y POR FALLA DE LA BASE.



¿CÓMO SE PUEDEN PREVENIR O MINIMIZAR ESTAS PATOLOGÍAS?

ES IMPORTANTE QUE SE HAGA UN BUEN MANTENIMIENTO, Y EN CUANTO SE EMPIECEN A EVIDENCIAR DAÑOS Y/O CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA,

EVALUARLA CON UN EXPERTO, CON EL FIN DE DETERMINAR LOS DAÑOS QUE SE ESTÁN PRESENTANDO.



GRACIAS JOSÉ. CON TODO LO ANTERIOR PUEDO ENTENDER LA IMPORTANCIA Y

DETECCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS EN MUROS DE CONTENCIÓN EN CONCRETO.



EVITARÁ PROBLEMAS POSTERIORES COMO, POR EJEMPLO, COLAPSO PARCIAL O TOTAL DE LA ESTRUCTURA.

ES IMPORTANTE RESALTAR QUE LA DETECCIÓN Y ATENCIÓN TEMPRANA DE LAS DIFERENTES PATOLOGÍAS

ES NECESARIO QUE TANTO EL DISEÑO COMO LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MURO TENGAN LA MAYOR ATENCIÓN Y CUIDADO POSIBLE.



FIN

¿SU ÚLTIMA IMPERMEABILIZACIÓN DEJÓ UNA GRIETA EN SU REPUTACIÓN?



PINTUCO® TRAE A COLOMBIA LA NOVEDOSA TECNOLOGÍA
AUTO-SELLANTE KRYTON®
QUE IMPERMEABILIZA SU CONCRETO
DEFINITIVAMENTE.



Única tecnología capaz de auto-sellar fisuras nuevas que aparezcan.



Impermeabiliza a altas presiones hidrostáticas, Certificado British Board of Agreement (BBA) N°05/4217.

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO PARA COLOMBIA
www.pintuco.com  [@pintucocolombia](https://twitter.com/pintucocolombia)

 [pintucocolombia](https://facebook.com/pintucocolombia)  [pintucocolombia](https://youtube.com/pintucocolombia)

Servicio al cliente 

018000 111 247
Desde Medellín al 325 25 23
Pintuco Colombia S.A



¡SU ESTRUCTURA NO ESTÁ PERDIDA!

En Toxement contamos con sistemas que le ayudarán a recuperar su estructura:

- Morteros de reparación.
- Materiales de reparación bajo agua.
- Ánodos galvánicos de sacrificio.
- Materiales para protección de estructuras.
- Materiales anticorrosivos para armaduras.
- Aditivos inhibidores de corrosión.
- Adhesivos y mejoradores de adherencia.
- Fibras y láminas para refuerzo estructural.



**#SOMOS
CONSTRUCCIÓN**

OFICINA PRINCIPAL: Calle 20C N° 43A - 52 Int. 4 Bogotá, Colombia
PBX: (1) 208 86 00 • FAX: (1) 208 86 00 Ext 133 - WWW.TOXEMENT.COM.CO

OFICINAS NACIONALES: • Medellín: (4) 448 01 21. • Cali: (2) 524 23 25. • Barranquilla: (5) 380 80 23 / 382 05 22. • Bucaramanga: (7) 690 96 51 / 691 52 14. • Cartagena: (5) 653 62 31 / 653 62 47.



Síguenos como [/toxement.col](https://www.facebook.com/toxement.col)



**EUCLID GROUP
TOXEMENT**