

Rehabilitación en construcciones para industria de hidrocarburos

Ing. Carlos Arcila López, DURALAB S.A.S.

Fotos: Cortesía de Ing. Miguel García Mulford

La infraestructura de un país constituye parte fundamental de su riqueza, de sus ingresos y de su desarrollo. Por dichas razones es de vital importancia generar proyectos integrales donde el diseño estructural y las consideraciones de durabilidad ocupen un lugar preponderante en la etapa inicial de diseño y costeo de la obra.

Existen en la actualidad diversas obras de infraestructura vial que muestran graves problemas externos y preocupantes señales de carencia de una adecuada elaboración de los estudios del proceso constructivo que llegan al extremo de mostrar defectos importantes de la obra antes de entrar en uso.

Los códigos vigentes de diseño de estructuras cubren con suficiencia la mecánica del cálculo estructural. Sin embargo, se debe hacer un enfoque más profundo sobre la durabilidad de las estructuras de concreto teniendo en cuenta las condiciones climáticas particulares y únicas que presenta el territorio colombiano. Por otra parte, mantener en buen estado las obras de infraestructura existentes es vital para evitar costosas intervenciones y parálisis de las actividades productivas, para lo cual es necesaria la evaluación permanente de las estructuras, aunque no presenten síntomas visibles de deterioro, lo cual evitará graves consecuencias una vez se haga visible el daño o que, en su defecto, exista una condición de inseguridad para su servicio.

Ante la importancia que representa la industria de los hidrocarburos para la economía colombiana, es clave mantener en buen estado las estructuras de concreto reforzado que componen estas instalaciones, teniendo en cuenta que algunas de las mayores instalaciones petroleras se sitúan en la costa del Caribe y en el centro del país, en Barrancabermeja, a orillas del Río Magdalena. En estas instalaciones se disputan la preponderancia las estructuras metálicas con las de concreto reforzado, pero ambos tipos de construcciones se ven sometidas a ataques severos permanentes.

Las instalaciones presentes en medio marino, además de estar expuestas a una constante carga salina del mar, están sujetas al ambiente industrial, el cual es rico en CO₂, H₂S y eventualmente cloro gaseoso. Estos procesos físicos y químicos que afectan las estructuras se ven estimulados por la temperatura y la humedad predominantes en el ambiente.

Al evaluar las estructuras de concreto reforzado deben conocerse los agresores presentes en el medio y el tipo de daño que causan, entender cómo penetran al concreto, qué tipo de intercambio químico puede ocurrir, cómo acceden al refuerzo y cuál es el mecanismo de la corrosión, sus componentes, las reacciones que tienen lugar en la estructura y sus efectos; todo esto con el fin de realizar una correcta evaluación y de orientar los ensayos más convenientes para determinar el estado de la estructura.

Al mismo tiempo, mediante ensayos de campo realizados directamente sobre la estructura o a través de los resultados de pruebas de laboratorio sobre las muestras tomadas en ella, se debe determinar la gravedad de la contaminación, el nivel del ataque, la profundidad alcanzada y la concentración del compuesto agresor. Las pruebas electroquímicas miden el potencial de corrosión y la resistividad del concreto, así como la velocidad de corrosión (cuando se cuenta con equipos que la puedan determinar), brindando un panorama adicional muy importante para definir la situación en que se hallan los procesos corrosivos en la estructura.

Surtida la etapa de evaluación viene el diagnóstico en el cual, por supuesto, juegan papeles importantes la experiencia y conocimientos sobre la mecánica del deterioro, pues a partir de esto se podrá determinar un diagnóstico apropiado para generar una estrategia adecuada de rehabilitación, en lugar de empeorar la situación de la estructura o de realizar una intervención inocua. El conocimiento sobre sistemas, productos y técnicas para controlar procesos que están causando deterioro será también fundamental

para llevar a cabo una rehabilitación apropiada desde los puntos de vista técnico y económico. Con el fin de tomar la mejor decisión con base en estas premisas es importante plantear diversas alternativas de rehabilitación con su respectivo costo y durabilidad.

Agentes agresores y daños comunes en instalaciones de hidrocarburos

De acuerdo con lo anterior, los principales contaminantes presentes en la atmósfera industrial son el CO_2 , el H_2S y el cloro gaseoso. Los dos primeros conducen a un ataque ácido al combinarse con la humedad del ambiente y la humedad en los poros del concreto, lo que da lugar al fenómeno conocido como carbonatación del concreto, que a su vez dará pie a la despasivación del acero de refuerzo en las estructuras situadas en estos ambientes, siendo este el primer paso para un proceso corrosivo cuando hay humedad y oxígeno presentes. El cloro gaseoso será responsable del segundo tipo de despasivación del refuerzo, puesto que es un compuesto generador de corrosión por picado, o de corrosión generalizada cuando el concreto es muy poroso.

A los agresores del medio debe agregarse la humedad común en nuestro territorio, particularmente en las costas y en las zonas ribereñas. El agua es el vehículo de entrada de los agresores (sales), o también es un componente de gran importancia en los procesos de deterioro como corrosión, ataque por sulfatos y reactividad álcali-agregado, entre otros. La disponibilidad de oxígeno dependerá de la porosidad del concreto, de los hormigueros producto de mala compactación, de un concreto sin la consistencia adecuada y de la presencia de fisuras.

Ensayos típicos para evaluar plantas industriales

Entre los ensayos mínimos necesarios para obtener un panorama apropiado del estado actual de una estructura en una zona industrial como la descrita se encuentran los siguientes:

Ensayos típicos para evaluar plantas industriales

- 1 Detección de la posición del acero de refuerzo y el espesor del recubrimiento.



- 2 Extracción de núcleos de concreto para determinar resistencia, módulo elástico, densidad y porosidad del concreto. También pueden requerirse para ensayos de sortividad (absorción de agua).



- 3 Apiques de verificación de refuerzo, previos a pruebas de carbonatación y determinación de las variables electroquímicas del refuerzo.



- 4 Prueba para medir la profundidad de carbonatación y el espesor de recubrimiento existente.



- 5 Toma de muestras secas para determinar en laboratorio el contenido de cloruros, sulfatos, cemento y materia orgánica (mínimo a dos profundidades, 0-3 cm y 3-6 cm).



- 6 Medida del potencial de corrosión con la celda de cobre-sulfato (corriente de corrosión).



- 7 Medida de la resistividad eléctrica del concreto (medida indirecta de la densidad del medio y la facilidad con que el concreto deja pasar iones y electrones).



- 8 Medida de la velocidad de corrosión (valores traducibles a pérdida de diámetro de refuerzo por año).



- 9 Medida de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto (para correlacionar con resistencias y determinar zonas fisuradas y su profundidad).



- 10 Medida del ancho de fisuras.



- 11 Levantamiento de lesiones.



- 12 Proyección de vida residual con los datos de carbonatación y la edad de la estructura.



Estado de la estructura

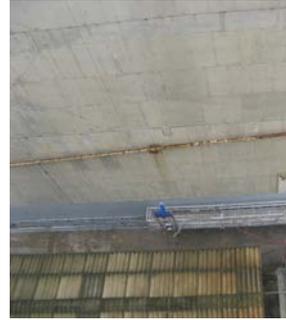
- 13** Daños típicos por corrosión en bafles de la torre enfriadora de agua.



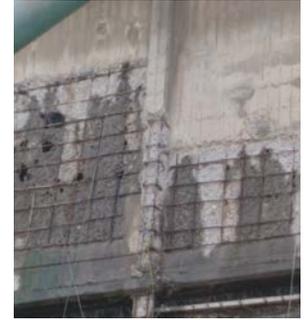
- 14** Corrosión de refuerzo en columnas exteriores debido al bajo espesor de recubrimiento sobre flejes y la carbonatación del concreto.



- 15** Zonas con fisuras del concreto en cercanía a juntas de construcción, lixiviación de hidróxido de calcio y humedades.



- 16** Sectores con corrosión debida al ataque del CO_2 y SO_2 , y a la presencia de humedad en la torre enfriadora de agua.



Diagnóstico

En general, en este tipo de estructuras se encuentra que en las caras exteriores de los elementos evaluados a profundidades altas de carbonatación el acero más expuesto ya está despasivado; hay corrosión localizada en zonas donde hay alta humedad y menores espesores de recubrimiento, existe agrietamiento por contracción de secado en elementos de grandes dimensiones sin juntas de dilatación, y pérdida de recubrimiento superficial debida al ataque ácido y a los ciclos constantes de humedecimiento-secado. En estructuras en medio marino hay presencia de sales en cuantías cercanas o superiores a la concentración crítica, altas corrientes de corrosión en zonas con procesos activos, bajas resistividades en zonas porosas y húmedas o con presencia de sales y, en general, estructuras porosas y permeables al agua y al oxígeno.

Por ejemplo, en el interior de torres enfriadoras de agua y en tanques donde se almacena líquido que no contiene sustancias agresoras, se miden espesores bajos de carbonatación y, usualmente, el acero está en buenas condiciones. Además, la baja disponibilidad de oxígeno (debido a la permanente saturación del concreto) hace que los procesos corrosivos sean muy lentos o no se causen. En las zonas de humedecimiento-secado vuelve a tenerse un cuadro de deterioro incluso más agudo que en el exterior.

Definición de la estrategia de rehabilitación

Alemania y otros países como los nórdicos disponen de metodologías ingenieriles y concisas para la rehabilitación de estructuras de concreto reforzado y técnicas para acometer las obras de rehabilitación, que son muy diferentes a la construcción de obra nueva.

La Norma Europea EN 1504-2005 constituye la guía más completa hasta hoy de *Productos y Sistemas para la Protección y Reparación de Estructuras de Concreto*. Contiene 10 normas que van desde la EN1504-1,

donde se definen todos los términos relativos a esta actividad, pasando por: *Sistemas de protección superficial del concreto, reparación estructural y no estructural, pega estructural, inyección del concreto, anclajes, protección del refuerzo contra la corrosión, control de calidad y evaluación de conformidad, principios generales para el uso de productos y sistemas*, hasta llegar a la EN-1504-10 sobre *Aplicación en campo de productos y sistemas, y Control de calidad de los trabajos*.

En general, cuando se haya definido el alcance de la rehabilitación de la estructura, las especificaciones para cuatro actividades importantes (Sanearo del acero y del concreto, Reparación, Reforzamiento y Protección de la estructura) se conocen como especificaciones S.R.R.P. Por supuesto, habrá casos de rehabilitaciones donde no sea necesaria alguna de estas actividades, pero siempre deben revisarse en conjunto. En particular, a veces se deja de lado la actividad de protección del concreto, de tal manera que se interviene una estructura afectada por los agresores presentes en un ambiente dado, pero al terminar la rehabilitación se olvida protegerla y la historia se repetirá 10 o 15 años después.

Para la rehabilitación de torres enfriadoras de agua en la industria de hidrocarburos se puso en práctica una estrategia similar a la que se promueve en la filosofía europea de rehabilitación. En la serie de fotografías desde la 13 a la 24, se ilustra el estado de deterioro de la estructura y el proceso de rehabilitación al que fue sometida.

Las estructuras industriales deben ser objeto de monitoreo frecuente, pues evaluarlas durante el período de iniciación del ataque (10-15 años) puede significar un ahorro muy grande en costos de rehabilitación y evita paralizar la actividad productiva. Esperar a que la estructura indique por sí misma la necesidad de una intervención es la peor práctica, pues causa grandes traumatismos y dispara los costos. 

Rehabilitación de la estructura

- 17 Saneado del concreto con chorro de agua a 10.000 psi. Aunque es un método silencioso que no causa fisuración en zonas sanas, requiere grandes cantidades de agua y no deja de ser riesgoso su manejo en obra. Los rendimientos tampoco son altos.



- 18 Saneado del concreto (8-12 cm) descubriendo el acero de refuerzo hasta 2-3 cm por debajo para garantizar la adherencia del material de reparación.



- 19 El saneado se extiende hasta encontrar acero sano en una longitud de al menos 15 cm. La demolición tiene bordes rectos en caja para evitar terminaciones de reparación delgadas, que suelen fisurarse.



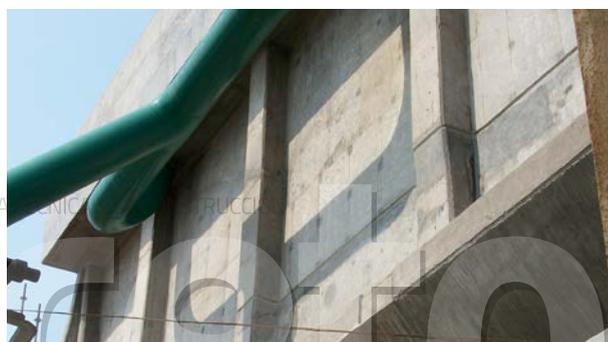
- 20 En algunos sitios la demolición es completa dado el estado de corrosión generalizado del refuerzo. No deben intervenir estructuras afectadas por corrosión haciendo parcheos, cuando toda la cara ya está afectada porque es cuestión de tiempo que el resto del área pierda el recubrimiento.



- 21 Inmediatamente se termina el saneado de concreto empieza el saneado del acero. Puede hacerse con chorro de arena húmedo (*wet-blasting*) o con chorro de agua a alta presión. Una vez se tenga limpio el acero, se recubre con un protector contra la corrosión base cemento, que impide nueva corrosión hasta cuando se repara la sección.



- 22 Zonas de baffles reparadas con concreto de altas prestaciones.



- 23 Una vez terminada la reparación se aplica un mortero de nivelación en toda la superficie como preparación para el recubrimiento protector especificado.



- 24 Aspecto de la estructura terminada la rehabilitación con recubrimiento epoxy-uretano aplicado. Este sistema brinda una protección muy efectiva y se termina con una capa de uretano, que resiste los rayos UV.

