

Los tanques para agua que están contruidos con hormigón, es un material resistente que tiene muchas ventajas. Desafortunadamente tiene una flexibilidad muy limitada. Esto significa que, una variedad de factores que van desde el movimiento de la tierra hasta la expansión y contracción de los cambios de temperatura pueden hacer que esta estructura se debilite y desarrolle grietas considerables a través de las cuales pueden escapar grandes volúmenes de agua. El peso del agua en un depósito o tanque grande también puede hacer que el concreto se mueva. Al hacerlo, las pequeñas grietas pueden abrirse hasta 1/8 de pulgada o más cuando se llenan de agua.

Todo el hormigón se deteriora con el tiempo. La velocidad a la que el hormigón se deteriora está determinada por la calidad del mismo y el entorno al que está sometido. En este artículo, se explican las patologías más frecuentes.

## **Tratamiento de defectos en la superficie del concreto**

El acabados muestran la apariencia natural del hormigón, aunque es uno de los acabados más simples, resulta difícil obtener un acabado perfecto, en vista de que requiere de altas especificaciones en las formaletas, y los defectos en este tipo de superficie lisa son más notorios.

Los problemas específicos que se deben abordar incluyen la reparación del concreto después de la remoción del encofrado y la remoción y reparación de cualquier defecto superficial que ocurra durante la construcción.

## **Ataques ambientales al hormigón**

Hay una serie de problemas medioambientales ineludibles que pueden poner en marcha los problemas de corrosión. No solo influirán el viento, el sol y la lluvia, sino también el nivel freático, la humedad interna, así como el calor, la luz y la energía que emana. Estos factores deben entenderse caso por caso, ya que cada estructura tiene una serie de microclimas que actúan sobre ella.

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

contaminación del concreto con cloruros. Ambos conducen a la corrosión del refuerzo de acero.

Este es un problema tan grande porque el óxido puede ocupar fácilmente diez veces el volumen del acero, lo que crea tensiones de tracción significativas y conduce a grietas, manchas y desconchado.

Este puede ser un problema difícil de evitar, ya que la corrosión es un proceso completamente natural. Todo lo que está sucediendo es que el acero está intentando regresar al estado más estable del mineral de hierro (que es como comenzó su vida antes de ser refinado, fundido y privado de oxígeno).

## **Carbonatación**

En los sectores de agua potable en Colombia, el proceso de carbonatación en hormigón es casi imposible de evitar. La carbonatación es la reacción del dióxido de carbono en el medio ambiente con el hidróxido de calcio en el cemento. Esto forma carbonato de calcio que inicialmente endurece el hormigón aumentando la resistencia a la compresión. Luego, la alcalinidad se reduce en el concreto y comienza a descomponerse.

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

Dependiendo de la permeabilidad, la carbonatación del hormigón puede avanzar a una velocidad de 1 a 5 mm por año. A medida que el dióxido de carbono penetra más profundamente en el hormigón, puede alcanzar el refuerzo de acero incrustado en la estructura. A medida que el concreto alrededor del acero se descompone por carbonatación, los efectos corrosivos del aire y el agua oxidan el acero, lo que hace que se expanda, se desconche y se agriete. Esto, a su vez, provoca una alta tasa de fallas en el área circundante.

## **Ataque de cloruro**

La otra causa principal de corrosión de las armaduras es el ataque de cloruros. El cloruro puede estar presente en el hormigón desde el inicio en la mezcla de concreto fresco (disueltos en los agregados, en los aditivos o en el agua). Se refieren como cloruros totales calculados y se expresan como el porcentaje de ion cloruro respecto al peso de cemento. El ion cloruro puede también penetrar posteriormente en el interior del concreto por difusión desde el exterior, en cuyo caso el riesgo de corrosión se incrementa grandemente.

Los cloruros totales en el concreto se pueden subdividir químicamente en ligados y libres. Esta distinción resulta importante ya que son los cloruros libres los responsables de la corrosión del acero de refuerzo. Los cloruros ligados son los que están íntimamente asociados al cemento hidratado y no son solubles en agua, por lo que no causan corrosión.

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

Una vez que los iones de cloruro han llegado al acero en cantidad suficiente, pueden iniciar células de corrosión, incluso en hormigón alcalino. El ataque de cloruro causa picaduras fuertes localizadas del acero de refuerzo y, como resultado, es, de alguna manera, más insidioso que la corrosión inducida por carbonatación, ya que puede resultar en una pérdida severa de sección y una pérdida potencial de integridad estructural.

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

generalmente asociados con el proceso de carbonatación, el cual incide inmediatamente sobre los niveles de pH en el concreto.

## **Ataque de sulfatos**

Los sulfatos están siempre presentes en el cemento, debido principalmente al yeso (sulfato cálcico). Los agentes expansivos a base de sulfatos que se suelen añadir cuando se hacen hormigón o morteros con retracción compensada. Los daños en el hormigón por reacciones con sulfatos surgen cuando, sulfatos adicionales penetran en el hormigón o hay adición posterior de sulfatos. Ocurre de una manera heterogénea y muy posterior (después de meses o incluso años). Estas reacciones expansivas pueden producir también fisuración, desprendimientos del hormigón y pérdida de resistencia, puesto que ocurren cuando el hormigón ya está endurecido y es un cuerpo rígido.

Los tanques que está expuesto a sulfatos, usualmente en el suelo o en aguas freáticas, puede desintegrarse en solo unos cuantos años debido a una reacción física o química, o ambos. El hormigón sometido a suelos secos conteniendo sulfatos, no será atacado. Pero puede ocurrir desintegración severa si es expuesto agua conteniendo sulfatos disueltos, o a alternancia frecuente de mojado y secado por las aguas con sulfatos.

## **Reacción álcali-árido (ASR)**

Esta es una reacción de los áridos silíceos reactivos con los constituyentes alcalinos del hormigón, en presencia de agua. Está ampliamente aceptado que los tres componentes necesarios para que se produzca la ASR en una estructura de hormigón son:

- Sílice reactiva (de los áridos)
- Álcalis suficientes (principalmente del cemento Portland, pero también de otros constituyentes del hormigón)
- Humedad suficiente

En la primera etapa, los álcalis que provienen principalmente del cemento migran hacia la solución acuosa de los poros y entran en contacto con los áridos reactivos, formando un gel silíceo alcalino.

En una segunda etapa de la reacción, este gel silíceo reacciona con la cal libre presente en el hormigón, para formar un nuevo tipo de gel que puede absorber una

gran cantidad de agua, y por lo tanto tiene unas grandes propiedades de hinchamiento.

Este efecto de hinchamiento genera fuerzas de expansión en el hormigón endurecido. Los modelos típicos de daño por ASR aparecen en forma de una superficie fisurada superficialmente con formas caprichosas. Pero esa fisuración se propaga hacia el interior del hormigón con el tiempo, y la expansión continúa indefinidamente mientras el agua siga absorbiendo el reactivo.

## Ataque químico

Usualmente las sustancias químicas se propagan a través del medio ambiente y una vez entran en contacto con las sustancias reactivas del concreto generan alteraciones que se manifiestan a corto, mediano o largo plazo dependiendo de las condiciones de humedad, temperatura y presión a las que se encuentre sometido. El hormigón es vulnerable a los productos químicos debido a tres de sus principales características de composición: permeabilidad, alcalinidad y reactividad. La permeabilidad a líquidos y gases varía considerablemente con los diferentes tipos de hormigón. Incluso el mejor hormigón tiene un pequeño grado de permeabilidad. La permeabilidad aumenta rápidamente al aumentar la proporción agua-cemento y al disminuir el tiempo de curado por humedad. La penetración de fluidos en el hormigón a veces se acompaña de reacciones químicas con cemento, agregados y/o acero. La lixiviación de los compuestos de hidratación del cemento o la deposición de cristales extraños o productos de reacción cristalinos también pueden degradar el sistema.

El aglomerante de cemento Portland hidratado alcalino reacciona con sustancias ácidas. Esta reacción suele ir acompañada de la formación y eliminación de productos de reacción solubles, lo que provoca la desintegración del hormigón. Cuando los productos de reacción son insolubles, se forman depósitos en la superficie del hormigón o en el hormigón, provocando una velocidad de reacción considerablemente reducida. Por lo general, la velocidad de ataque aumentará con un aumento en la concentración de agentes agresivos en la solución.

Estos tipos de productos químicos a menudo se encuentran en el suelo o en las áreas circundantes de un tanque subterráneo. Algunos de los productos

químicos más destructivos para el hormigón son las aguas ácidas, el cloruro de aluminio, el sulfato de aluminio, los vapores de amoníaco, el sulfato de amonio, el cloruro de amonio, el sulfuro férrico y el sulfato ferroso, que pueden desintegrar el hormigón y atacar el acero.

No todos los productos químicos son dañinos para el hormigón. Entre las sales neutras comunes que no atacan al hormigón se encuentran la mayoría de los carbonatos y nitratos, algunos cloruros, fluoruros y silicatos. El agua de cal suele ser beneficiosa para el hormigón porque promueve la hidratación sin eliminar la cal del hormigón. Otras soluciones alcalinas débiles no suelen ser perjudiciales. Algunos de estos materiales pueden provocar una decoloración no deseada.

Las plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales proporcionan un entorno severo para el hormigón. La abrasión, el ataque químico pueden reducir significativamente la vida útil de un tanque de concreto. Por esta razón, es aconsejable proteger el concreto de los nuevos, antes de que los químicos, sulfatos y ácidos tengan la oportunidad de penetrar en el concreto y causar daños.

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

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

# Boletín Técnico No

**CUBREX**<sup>®</sup>  
RECUBRIMIENTOS DE ALTA RESISTENCIA

ambientales y la manifestación de situaciones anómalas  
y de eventos extraordinarios.

## Susceptibilidad del hormigón a los productos químicos

El hormigón es vulnerable a los productos químicos debido a tres de sus principales características de composición: permeabilidad, alcalinidad y reactividad. La permeabilidad a líquidos y gases varía considerablemente con los diferentes tipos de hormigón. Incluso el mejor hormigón tiene un pequeño grado de permeabilidad. La permeabilidad aumenta rápidamente al aumentar la proporción agua-cemento y al disminuir el tiempo de curado por humedad. La penetración de fluidos en el hormigón a veces se acompaña de reacciones químicas con cemento, agregados y / o acero incrustado, si está presente. La lixiviación de los compuestos de hidratación del cemento o la deposición de cristales extraños o productos de reacción cristalinos también pueden degradar el sistema.

El aglomerante de cemento Portland hidratado alcalino reacciona con sustancias ácidas. Esta reacción suele ir acompañada de la formación y eliminación de productos de reacción solubles, lo que provoca la desintegración del hormigón. Cuando los productos de reacción son insolubles, se forman depósitos en la superficie del hormigón o en el hormigón, provocando una velocidad de reacción considerablemente reducida. Por lo general, la velocidad de ataque aumentará con un aumento en la concentración de agentes agresivos en la solución.

Llenar y vaciar alternativamente los tanques, puede ser dañino para la estructura de concreto y puede resultar en destrucción debido a una reacción alcalina agresiva. Esto ocurre cuando las sustancias disueltas migran a través del concreto y se depositan en o cerca de una superficie donde ocurre la evaporación. El resultado es una eflorescencia que se ve en las paredes de hormigón.

Hay varios productos químicos que son destructivos para el hormigón. Estos tipos de productos químicos a menudo se encuentran en el suelo o en las áreas circundantes de un tanque subterráneo. Es responsabilidad del diseñador realizar un análisis químico adecuado del suelo antes de diseñar el sistema de impermeabilización. Los productos químicos presentes también pueden ser perjudiciales para la barrera impermeabilizante. Algunos de los productos químicos más destructivos para el hormigón son las aguas ácidas, el cloruro de aluminio, el sulfato de aluminio, los vapores de amoníaco, el sulfato de

amonio, el cloruro de amonio, el sulfuro férrico y el sulfato ferroso, que pueden desintegrar el hormigón y atacar el acero.

No todos los productos químicos son dañinos para el hormigón. Entre las sales neutras comunes que no atacan al hormigón se encuentran la mayoría de los carbonatos y nitratos, algunos cloruros, fluoruros y silicatos. El agua de cal suele ser beneficiosa para el hormigón porque promueve la hidratación sin eliminar la cal del hormigón. Otras soluciones alcalinas débiles no suelen ser perjudiciales. Algunos de estos materiales pueden provocar una decoloración no deseada.

## Grietas, aberturas y puntos de infiltración

El concreto puede agrietarse antes y después del endurecimiento, y todas estas grietas se convierten en aberturas susceptibles a la infiltración. Antes del endurecimiento, el hormigón se puede agrietar por el movimiento de la construcción, el plástico o la contracción por secado, o por daños por heladas tempranas. El concreto puede agrietarse después de endurecerse por asentamiento, fuerzas sísmicas, vibración, fluencia, carga excesiva o deflexión por el movimiento del suelo.

Además de ser un material poroso, el hormigón es susceptible a la infiltración en varios lugares. Los puntos de infiltración de humedad incluyen todas las juntas de hormigón, juntas de control o juntas de expansión. Las aberturas también pueden ocurrir en los orificios de la barra de acoplamiento, penetraciones y conexiones estructurales. Los desagües internos también son puntos de entrada para la intrusión de humedad.