

Patologías frecuentes en estructuras hidráulicas

Carlos Arcila López, DURALAB S.A.S.

Fotos: Cortesía Carlos Arcila López



↑ Foto 1. Corrosión por ataque de cloruro gaseoso en la cara inferior de la losa de cubierta de un tanque de agua potable.

Se afirma que las obras hidráulicas son construcciones de ingeniería creadas por el ser humano para aprovechar los recursos hidráulicos y para evitar o controlar su acción destructiva. Esto pone de relieve que el agua encauzada y bien aprovechada reporta grandes beneficios a la humanidad pero que, cuando se sale de control, puede ser trágicamente dañina.

Cuando se habla de obras hidráulicas hay que referirse al agua, una sustancia con poderosas características no solo físicas (presión, humectación, permeabilidad) sino químicas (disolución, transporte de sustancias disueltas, difusión y combinación). Es un elemento indispensable, por ejemplo, en los procesos corrosivos, y sin ella no se daría la reactividad álcali-agregado.

Entre los tipos de obras hidráulicas podemos encontrar:

- Estructuras de contención: presas y tanques.
- Estructuras de regulación: diques, espolones.
- Estructuras de conducción: canales, tuberías, túneles.
- Estructuras de evacuación: vertederos, rebosaderos.
- Estructuras de toma de agua: bocatomas.
- Estructuras de disipación de energía: saltos de esquí, bafles, canaletas amortiguadoras, trampolines sumergidos, etc.
- Estructuras para disipar calor: torres enfriadoras de agua.

Las estructuras hidráulicas se construyen en general de concreto; sin embargo, hay estructuras hechas con tierra, enrocados, metal, etc. Se hará referencia a aquellas construidas con concreto simple o reforzado; ante la gran variedad, se abordará la problemática común y se presentarán ejemplos singulares de estructuras afectadas y rehabilitadas, cuyos tratamientos y soluciones pueden extenderse fácilmente a las demás.

El tema de este artículo es la patología y, por lo tanto, la rehabilitación de estructuras hidráulicas. Entonces, hay que empezar por enunciar los factores que promueven el deterioro del concreto, reforzado o no:

Corrosión del acero de refuerzo

Dos fenómenos conducen a la despasivación del acero de refuerzo en las estructuras de concreto: la carbonatación producida por el ataque del CO₂ del ambiente (corrosión uniforme) y el ingreso y acumulación de cloruros al nivel del refuerzo (corrosión por picado). En el primer caso, el paso del tiempo y una baja reserva alcalina, sumados a un recubrimiento escaso y de mala calidad, garantizan una pronta despasivación. Una vez despasivado el refuerzo, el ingreso de agua y oxígeno completarán el esquema de ingredientes necesarios para iniciar un proceso corrosivo.

No obstante, en estructuras hidráulicas, la cara del concreto permanentemente húmeda no se carbonata. Los espesores medidos en el interior de tanques no superan, por lo general, unos pocos milímetros. Es entonces la cara “seca” la que puede presentar mayores inconvenientes por carbonatación. Usar una barrera de CO₂ como recubrimiento para impedir el paso de CO₂ puede constituirse en un elemento que extienda la durabilidad de la estructura.

Cuando se trata de cloruros las condiciones son diferentes por su acción agresiva y porque, al contrario de la carbonatación, aquí la sal ya ha entrado acompañada de agua, lo que facilita el desarrollo del proceso corrosivo.

Un concreto de baja relación agua/material cementante, la inclusión de adiciones puzolánicas reactivas como ceniza volante, escoria de alto horno, humo de sílice, metacaolín, etc., que refinan la red de poros, sumada a la protección de la superficie con resinas epóxicas, pueden configurar el esquema de protección adecuado contra el ataque de cloruros.

En la actualidad se presenta una situación común en la losa de techo de los tanques para almacenar agua potable tanto en las grandes estructuras urbanas como en los pequeños tanques de las agrupaciones residenciales (ver foto 1). El cloro gaseoso, que se desprende del compuesto usado para potabilizar el agua, penetra la cara inferior de la losa de cubierta y genera corrosión, en especial en losas con concreto de baja resistencia y poco espesor de recubrimiento.

Porosidad

En primer lugar, hay que recordar que el concreto es un material poroso por naturaleza; el exceso de agua de amasado y el no uso de aditivos reductores de agua o de plastificantes para dar manejabilidad, llevan a que en la mezcla se duplique el volumen de agua requerido para hidratar el cemento. Este exceso de agua, al evaporarse, deja cierto porcentaje de poros en la matriz del concreto que se convierten en caminos expeditos para el ingreso de agresores o para la salida del líquido almacenado.

De igual manera, la falta de compactación adecuada del concreto genera macroporos que contribuyen a incrementar la porosidad. Un curado defectuoso produce un recubrimiento poroso y débil, especialmente cuando el concreto se elabora con cementos adicionados.



↑ Foto 2. Porosidad en el núcleo del concreto.

Fisuración

Tanto en las obras como en el gremio constructor es común la frase: “tanque que no se fisure, no es tanque” y en el medio se toma como una realidad inobjetable. Pueden exhibirse tres razones poderosas que casi garantizan la aparición de fisuras pasantes;

la primera, un defectuoso diseño estructural; es muy raro que una vez terminado el diseño se verifique si el refuerzo existente es suficiente para controlar la fisuración. Esto supone, generalmente, refuerzo adicional en la dirección longitudinal del tanque pero, si es necesario, hay que ponerlo o alistarse para el posterior sello de fisuras. La segunda razón: no se diseñan juntas de contracción o se construyen mal por falta de especificación adecuada. Hay que recordar que el concreto se contrae por secado del agua libre de la mezcla (la carbonatación deseca un poco más) y si no existen juntas que den un respiro al material al contraerse, el resultado es una fisura cada 4 ó 5 m. La tercera razón es la restricción al movimiento; al contraerse, el concreto trata de fisurar en aquellos sitios donde el terreno o la misma armadura genera retenciones, por lo cual las juntas deben atravesar toda la sección.

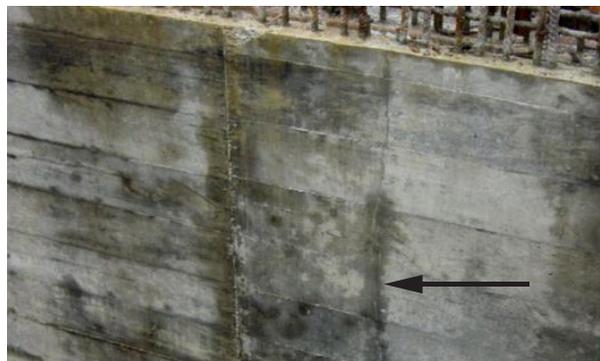


↑ Foto 3. Fisuración del concreto común en tanques de agua.

La contracción térmica inicial (antes mal conocida como contracción de fraguado) es otra fuente de fisuras, que en este caso pueden ser de gran tamaño y de manejo complicado. Se trata de la generación de un gradiente térmico en obras masivas. El concreto es mal conductor del calor, por lo que el equilibrio térmico puede durar desde días hasta muchos años en establecerse, como ocurre en las presas. Un pico de temperatura interna muy alto (que se da generalmente entre el primer y el tercer día después de vaciado el concreto) y una temperatura externa muy baja pueden dar lugar a un choque térmico que cause tensiones capaces de fisurar el concreto. De ahí que, en concretos masivos, un adecuado estudio –modelos, pruebas con el concreto a usar en cubos de 1 m³ con termopares instalados a varias profundidades, uso de puzolanas como reemplazo de cemento, enfriamiento de los materiales, entre otros– es la única manera de evitar el

fisuramiento por esta causa. El ingeniero estructural del proyecto puede ayudar mucho en la tarea de bajar el pico máximo de temperatura especificando la edad de evaluación de la resistencia de diseño a 56 ó 90 días.

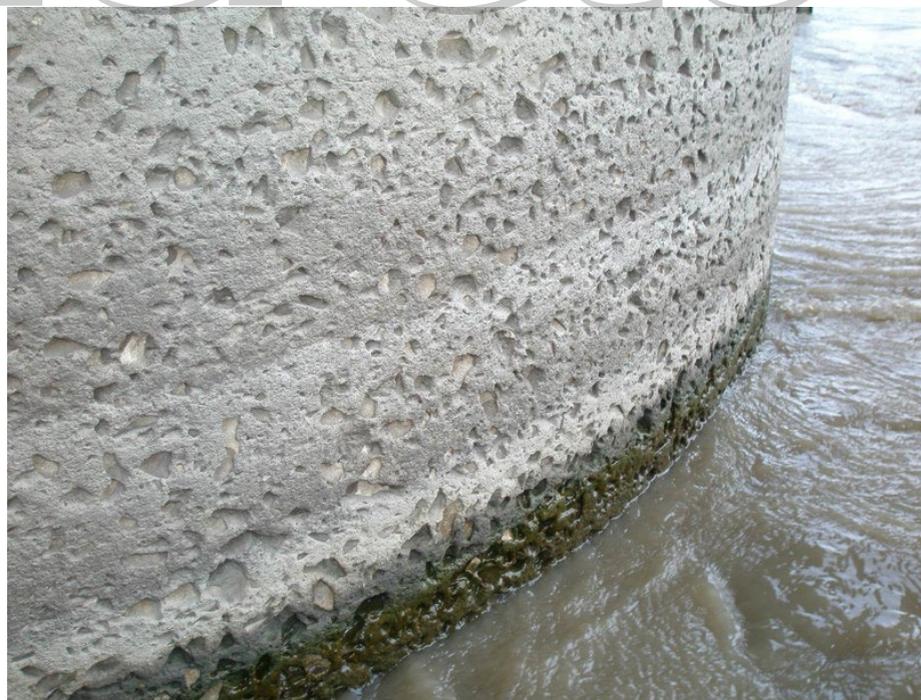
➔ Foto 4. Fisuración de muros de tanque de agua potable por falta de juntas de contracción.



Los movimientos del terreno y asentamientos diferenciales también pueden generar fisuración en estructuras de contención de agua.

Erosión y cavitación

Las estructuras hidráulicas están expuestas a la acción de agua en movimiento que, combinada con sólidos (arenas, agregado rodado), va desgastando la superficie hasta dejar expuesto el acero de refuerzo. La cavitación se manifiesta como burbujas de aire que atacan con gran potencia la superficie del concreto debido a subpresiones, produciendo lesiones en la superficie que el mismo flujo va agravando.



↑ Foto 5. Pérdida de recubrimiento por abrasión.

Ataque químico

Las estructuras hidráulicas están expuestas a aguas con diversas composiciones. Pueden verse afectadas por aguas de origen marino, donde el ataque de cloruros corroe el refuerzo. En plantas de tratamiento

de agua, los sulfatos (usados en el proceso) dañan el concreto y generan fisuración, desconchamientos y pérdida de resistencia.

En tanques de agua para consumo humano queda con muy poco residuo insoluble una vez que el líquido completa su proceso de filtrado y potabilización; es decir, no contiene sustancias que calmen su avidez por ciertos compuestos, particularmente cálcicos, que sí abundan en el cemento. Por esta razón no es extraño que al inspeccionar estas estructuras se encuentren como si hubieran sido abujardadas. Han perdido un buen espesor de recubrimiento debido a que el agua “pura” ha carcomido el cemento. La adición de puzolanas reactivas al cemento puede ayudar a mitigar este defecto.

Las aguas blandas han generado problemas gravísimos aun en obras recién construidas, dado que se pierden espesores importantes de recubrimiento a través del ataque de estas aguas al cemento de la estructura, lo que obliga a costosas rehabilitaciones de estructuras con “garantía” vigente. Esto supone una señal de alerta: sin excusa, los diseños deben ser integrales e incluir el estudio y análisis de la composición química del líquido a contener, por parte de expertos en el tema.

Por supuesto, en tanques industriales (en la fabricación de papel, por ejemplo) el deterioro del concreto es grave debido a los químicos que se usan en el proceso. Siempre debe investigarse el tipo de sustancias que va a contener el efluente del proceso productivo para formular, durante la etapa de diseño, las especificaciones de concreto, juntas, sellos de juntas y de recubrimientos especiales a fin de enfrentar el ataque y evitar costosas paradas de la secuencia industrial; la labor de rehabilitación es siempre compleja, más aún cuando es imposible detener el proceso.

No solo se puede crear un diseño de mezcla probado para enfrentar el ataque: hoy en día existe gran variedad de recubrimientos y membranas que pueden enfrentar el ataque con solvencia técnica y económica, cuyo uso puede representar un ahorro enorme para una industria, no solo en tiempo sino en dinero.

En las plantas de tratamiento de agua, los tanques cuyas paredes interiores carecen de un concreto liso y resistente mecánica y químicamente, conduce a gastos cuantiosos por las operaciones de lavado y remoción de lodos que se incrustan en los poros superficiales del concreto.

Ataque químico por deficiente aireación

Si se construye un tanque de aguas residuales muy sellado –proviengan ellas de procesos industriales o sean simplemente aguas negras, o una combinación de ambas– sin respiraderos o sin un sistema de aireación mecánico, el desprendimiento de vapores y gases del agua retenida, en ausencia de oxígeno (proceso anaerobio) produce ácido sulfhídrico (H_2S solución acuosa) que ataca severamente la pasta de cemento provocando la pérdida del recubrimiento y corroyendo el acero de refuerzo.

▼ Foto 8. Concreto deteriorado y corrosión del refuerzo por falta de aireación en un tanque de aguas residuales.



← ↑ Fotos 6 y 7. Ataque al concreto por aguas blandas.



La solución más práctica es dotar de un sistema de aireación eficiente al tanque, cuando es posible o, de otra manera, no encapsular el agua residual. En Ciudad de México, por ejemplo, se teme a una posible falla masiva estructural de las antiguas tuberías del alcantarillado que ya empiezan a hundir vías a causa de este fenómeno.

Vale la pena anotar que las aguas negras no suelen deteriorar el concreto en estructuras donde la superficie del agua está al aire libre o donde hay gran ventilación. No es extraño que en algunos casos se opte por encerrar el agua residual para evitar los olores desagradables, sin considerar el daño que puede causar a la estructura. Cuando es inevitable el encapsulamiento, debe recubrirse la superficie interna, en la zona donde termina el nivel del agua, unos 20 cm por debajo de este nivel, con productos o sistemas que soporten ataque ácido.

Ataque por reactividad álcali-agregado

No es un secreto que el suministro de agregado no reactivo es cada vez más complicado en nuestro medio: las licencias de explotación de fuentes de agregados son cada vez más difíciles de obtener y una orografía donde abundan los minerales potencialmente reactivos no ayuda en este caso. Colombia tiene problemas causados por agregados con sílice amorfa o con carbonatos y por alta alcalinidad de las mezclas de concreto en presencia de agua. Esta reacción es expansiva y complicada de controlar una vez se presenta.

En algunos proyectos es económicamente inviable cambiar la fuente de agregado, aunque sea potencialmente reactivo. Entonces suele diseñarse una mezcla con cementante que contenga una adición que consuma buena proporción de hidróxido de calcio para dejar sin mucha reserva alcalina al concreto, se impermeabiliza apropiadamente la estructura, se usa una mezcla apropiada de agregados reactivos y no reactivos, se reduce el tamaño máximo del agregado potencialmente reactivo y se utilizan aditivos de litio que ayudan a controlar en cierto grado el fenómeno.

Una recomendación sana para estructuras de edificaciones cuya cimentación va a estar sometida permanentemente a la acción del agua freática es el uso de productos asfálticos modificados como recubrimiento superficial antes de rellenar con el suelo. Esta acción, combinada con un buen aislamiento de la cimentación por su cara inferior antes de colocar el concreto, ayuda en gran manera y a costo ínfimo a controlar el posible desarrollo del problema; esta solución se combina con adiciones puzolánicas en la mezcla del concreto. Además de ser una buena práctica, esta podría ser una especificación generalizada de diseño y construcción de cimentaciones en el país.

La rehabilitación de una obra que ha sufrido ataque

por reactividad álcali-agregado (RAA) es dispendiosa y tiene alto costo, pero es factible si el fenómeno se detecta a tiempo. Sin embargo, cuando la estructura está bajo tierra y no es factible hacer control visual de su estado, el problema puede ser complejo porque no se sabe qué puede estar ocurriendo.

Ataque por sulfatos

Es muy poco frecuente el ataque por sulfatos a las estructuras hidráulicas en suelos donde no existe yeso. El agua de mar no contiene sulfatos en proporción que puedan agredir el concreto. Son los cloruros lo que hay que controlar en estructuras marinas. Anteriormente era un error usar cemento tipos II o V en estructuras marinas, pues se reducía el contenido de aluminato tricálcico (C₃A), único compuesto capaz de fijar cloruros cuando ingresan al concreto. Esta acción se encaminaba a imprimir en la mezcla resistencia a los sulfatos, cuando el verdadero problema son los cloruros. Hoy en día, cuando el diseño de cementos resistentes a sulfatos pasa por la incorporación de adiciones reactivas al cementante (efecto diluyente del contenido de C₃A) no hay tal problema, pues al refinar la red de poros se impide el ingreso de cualquiera de los dos compuestos: sulfatos o cloruros. Claro está, la opción debe combinarse con un diseño de mezcla donde haya un contenido de cemento mínimo de 350 kg/m³, la relación agua/material cementante sea inferior a 0,4 y se cure apropiadamente la estructura.

Por supuesto, en las industrias donde el efluente del proceso contiene sulfatos, o los contiene el tanque (en las plantas de tratamiento de agua potable, por ejemplo), debe usarse un concreto impermeable, y es mandatorio recubrir las superficies en contacto con el agua con un producto epóxico o instalar una membrana impermeable en el interior del tanque para aislar el concreto del agua con sulfatos, una opción que también funciona bien con aguas ácidas.

Conclusión

Las lesiones patológicas en estructuras hidráulicas son diversas. El solo hecho de tener que lidiar con la permeabilidad de la estructura ya es suficiente para entender la frecuencia de esos fenómenos. En nuestro medio hay una infortunada práctica recurrente, que es la falta de un diseño integral en los proyectos. Es clave que el diseñador de estructuras hidráulicas sea consciente de la necesidad de trabajar en equipo con especialistas en materiales y que entienda el aspecto químico del proyecto. Esa colaboración debe darse en la fase de proyecto, no durante la construcción y mucho menos cuando está hecha la estructura, pues el costo de materiales y de mano de obra aumenta exponencialmente según el momento en que se tenga que llevar a cabo la protección. (ver Ley de Sitter).