

# La durabilidad a la erosión del concreto en obras hidráulicas

Juan Fernando Arango Londoño, Alion

Por su gran versatilidad, **el concreto es ideal** para la construcción de obras hidráulicas, marítimas o fluviales y su durabilidad se puede aumentar diseñando la mezcla por **el método de verificación** del desempeño, lo que permite seleccionar los **materiales adecuados** para la mezcla.

**La versatilidad del concreto** es ampliamente reconocida y en el caso de las estructuras hidráulicas es muy valorada, no solo por su resistencia, sino por la relativa facilidad para lograr geometrías complejas que permitan conducir de forma eficiente el agua, como ocurre en el caso de las losas de canalización, tanques, vertederos, azudes, canales de aproximación, transiciones de geometrías, tuberías o captaciones, entre otros elementos. Por otra parte, el agua suele contener agentes que potencialmente pueden atacar los materiales, y el concreto, correctamente diseñado, permite una vida de servicio prolongada.

## Factores que generan erosión

La capacidad del agua para disolver diferentes sustancias químicas, o de transportar materiales, hace que, en general, las obras de ingeniería ambiental sean más exigentes en la especificación y diseño de las mezclas de concreto, respecto de las obras de edificación. Por ejemplo, cuando transporta compuestos químicos, un caso crítico son las aguas residuales las cuales suelen presentar contenidos importantes de factores de ataque, como son los cloruros, sulfatos, amoníaco y nitratos, o presentar cambios de acidez o basicidad (pH). Algunos de esos ataques producen disgregación de la superficie del concreto, generando la pérdida de suavidad para el paso del agua y convirtiéndose en un primer factor que modifica la rugosidad. Una mezcla de concreto se puede diseñar para estas condiciones de exposición por métodos prescriptivos o mediante la verificación del desempeño, siendo el último método el más recomendable al medir directamente el comportamiento ante cada condición de ataque.



← Foto 1. Construcción de un ducto presurizado en concreto.  
CORTESÍA JUAN FERNANDO ARANGO LONDOÑO

Además, el agua puede transportar partículas de diferente dureza y tamaño, bien sea en suspensión o mediante arrastre, las cuales interactúan con el concreto aumentando también la rugosidad. Así, la fricción entre el flujo del agua y las estructuras de concreto, con o sin el arrastre de material particulado es un segundo grupo de factores que afectan potencialmente la vida de servicio de las obras hidráulicas. De hecho, cada vez más se reserva el término erosión para designar ese fenómeno, en contraposición a la abrasión que se suele limitar a describir la fricción en seco. La diferenciación de términos cobra sentido cuando se observa que los mecanismos que explican el proceso de deterioro, la forma de prevenirlo y la manera de realizar el diseño y valoración del desempeño, son distintos.

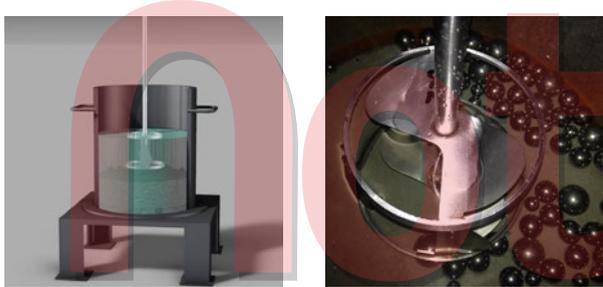
Finalmente, hay un tercer factor que modifica la rugosidad del concreto de las estructuras hidráulicas. Cuando la velocidad del agua es alta disminuye la presión en el fluido, lo que puede llevar a que localmente pase a una fase de vapor. Cuando vuelve a aumentar la presión, las burbujas colapsan generando una onda de choque que puede demoler los materiales. Este fenómeno es conocido como cavitación, que es otra forma de erosión.

## Concretos durables, resistentes a la erosión

Contrario a lo que se podría pensar, no es usual encontrar requisitos prescriptivos que permitan asegurar un buen desempeño del concreto a la erosión. Generalmente se tiende a pensar que ello se logra con una elevada resistencia a la compresión del concreto, disminuyendo la relación agua a material cementante, implementando el uso de fibras o la combinación de las anteriores. En último caso, se recurre a realizar procesos complicados y costosos de colocación de recubrimientos, como pueden ser los blindajes, que se hacen anclando una lámina de acero en el concreto y que en algunas ocasiones genera daños como desprendimientos u oxidación. La mejor solución debe ser verificar directamente el desempeño a la erosión de la mezcla de concreto e implementar estrategias complementarias de diseño, tales como mitigar la retracción del concreto, el correcto detallado del acero en relación con su ubicación, cantidad y recubrimiento, y una adecuada concepción y diseño de juntas.

Se han propuesto diferentes métodos para verificar la resistencia a la abrasión del concreto. Pero el más aceptado en el momento es el que fue propuesto por Liu

en la década de los años 1930 y que hoy se encuentra descrito en la norma ASTM C1138-19<sup>1</sup> con algunas modificaciones. De alguna forma, es similar a un ensayo de la Máquina de los Ángeles, pero aplicado al concreto y con agua. Como todo método de verificación del desempeño, la prueba se puede calificar como agresiva para poder obtener información en un corto tiempo. Así, este método consiste en formar especímenes con la mezcla que se quiere evaluar, o bien, tomar muestras de concreto en servicio que son obtenidas mediante corte y pulido. Las muestras se someten a la acción de una carga erosiva de bolas de acero al cromo, que son arrastradas por el agua en el equipo durante 72 h, como se muestra en la foto 2. El agua es movida por un agitador que gira a 1200 rpm, generando una velocidad en el agua de 2,8 a 3,0 m/s, cuantificada en el borde exterior de la muestra del concreto, con lo cual se asegura que no ocurra cavitación. Durante el ensayo, se realizan medidas intermedias de pérdida de masa, cada 12 h, donde además se cambia el agua y se limpian los residuos. De esta forma, este método entrega información de la habilidad que tiene el concreto para resistir erosión causada por el arrastre de sólidos.



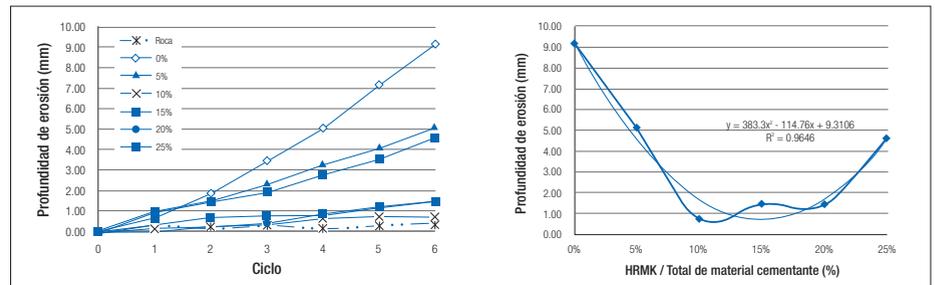
↑ Fotos 2 y 3. Configuración del equipo de erosión ASTM C1138-19. CORTESÍA LABORATORIO DE MATERIALES PARA INFRAESTRUCTURA CORONA®

La apariencia típica de las muestras una vez realizado el ensayo se muestra en la foto 3. Como la velocidad de arrastre es mayor en el borde, y las bolas se agrupan en esa zona, a partir de allí es donde se presentará mayor erosión; mientras que, en el centro, donde la velocidad del agua es nula y no estarán presentes las cargas erosivas, no se produce ningún tipo de pérdida de material. Por otra parte, el proceso de erosión en este ensayo replica bastante bien lo que ocurre en un concreto en una obra hidráulica, ya que las cargas abrasivas actúan de dos formas complementarias que también se encuentran presentes en el ensayo: una que se asocia con la dureza de los componentes del concreto y otra que guarda relación con la habilidad para soportar los impactos directos de las partículas que son arrastradas.



← Foto 4. Apariencia de los especímenes luego del ensayo de erosión. CORTESÍA LABORATORIO DE MATERIALES PARA INFRAESTRUCTURA CORONA®

Para la selección y diseño una mezcla con alta durabilidad a la erosión para un proyecto se utilizó en la mezcla de concreto metacaolín de alta reactividad, de producción local, dosificado en diferentes niveles. Todas las mezclas tenían las mismas características, es decir, igual cantidad de cementantes, de relación agua-material cementante ( $a/c$ ), agregados y asentamiento. Además, con propósitos de investigación, también se le dio la forma a un espécimen hecho con la misma roca de la cual se obtuvieron los agregados para las mezclas. Con ello se pudo encontrar que el contenido óptimo de adición para aumentar la resistencia a la erosión de esa mezcla particular estaba entre el 12% y el 20% de metacaolín de alta reactividad respecto al cemento, logrando cerca de 9 veces más habilidad para resistir la erosión.



↑ Figura 1. Resultado típico de un ensayo de erosión ASTM C1138. En esta mezcla, existe una cantidad óptima de metacaolín de alta reactividad para lograr la máxima resistencia a la erosión, llegando a ser similar al de la roca usada para fabricar los agregados del concreto.

CORTESÍA JUAN FERNANDO ARANGO LONDOÑO

Sin embargo, en pruebas similares, en otros proyectos, no fue posible encontrar un diseño de mezcla que entregara mayor resistencia a la erosión. En uno de los casos estuvo limitada por la baja resistencia a la erosión de los agregados, es decir, aunque la pasta y el mortero del concreto tuvieran un desempeño superior, la baja capacidad del agregado impedía aumentar la resistencia a la erosión del concreto. Y en otro caso, el uso de fibras metálicas resultó en un aumento en la erosión de los especímenes.

Como se explicaba anteriormente, la resistencia a la erosión de un concreto depende de múltiples factores y por tanto no es del todo adecuado guiarse por fórmulas generales de especificación basadas en la resistencia a la compresión o la relación  $a/mc$ .

Se puede resumir que la relación entre algunas características del concreto y la resistencia a la erosión en el concreto para una estructura hidráulica son:

- Resistencia a la compresión, tracción indirecta o módulo de rotura, permeabilidad y resistencia a la abrasión en seco en concretos de más de 28 MPa: no se ha encontrado una relación directa de estas propiedades con la resistencia a la erosión.
- Resistencia a la erosión del agregado: agregados con minerales blandos y esquistos, filitas o pizarras pueden presentar mayor erosión por el agregado.
- Tipo de cementante complementario (puzolana): modifica las características de la zona de transición de fases (ITZ) en relación con su composición, textura y ancho de fisura. Igualmente, modifica la composición de fases en la pasta (portlandita, tobermorita, entre otras). Unas aumentan la resistencia a la erosión, mientras que otras la deterioran, especialmente aquellas que tienen presencia de inquemados de carbón.
- Fibras metálicas y elementos de alta dureza que queden expuestos al flujo: pueden crear un efecto de desviación del agua y de las cargas erosivas, que terminan aumentando localmente la erosión del concreto.
- Posición de las barras de acero de refuerzo respecto al flujo: modifican los patrones de las fisuras de reflejo. Es ideal que queden paralelas al flujo y no transversales a este.
- Ubicación de las juntas de vaciado.

Así, cuando se desea aumentar la resistencia a la erosión de una obra hidráulica, se pueden realizar diseños de mezclas, con verificación de desempeño, que aseguren la mejor elección en un proyecto, aumentando la vida útil y disminuyendo la intensidad del mantenimiento.

La bibliografía de este artículo la podrá encontrar en la versión virtual de Noticreto edición 158 en [www.asocreto.org.co](http://www.asocreto.org.co)

<sup>1</sup> Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method) / Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión del concreto (método subacuático).