

ADITIVOS

# Aditivo Estabilizador de Hidratación **2<sup>da</sup> parte.**

**L**os Aditivos Estabilizadores de Hidratación (AEH) son una nueva generación de retardadores de fraguado. Mientras que los retardadores tradicionales son útiles para escasos tiempos de retraso, en muchos casos es necesario un tiempo de fraguado mayor y más controlado. Los AEH están formulados para proveer esta extensión de fraguado, con la ventaja de que es extremadamente controlable, con rangos que van desde unas pocas horas hasta retrasos controlados de más de 30 horas. Cabe decir que con el uso de los AEH, el horizonte de plasticidad puede ser extendido de una manera controlada para brindar flexibilidad, y oportunidades para muchos proyectos que se ven limitados por estas cuestiones.

Diariamente muchas empresas se preparan para poder certificar sus procesos frente a organismos internacionales, situación que en muchos casos tiende a minimizar las acciones sobre el medio ambiente. El caso del agua de lavado es esencial no sólo por el consumo de ésta, sino también por el problema que implica la limpieza de los trompos en la planta o en la calle. Una opción para minimizar estos problemas es el tratamiento del agua de limpieza con AEH. Como se comentó, el procedimiento necesita de entrenamiento para todos los involucrados en el proceso productivo, que en general necesitan conocer el proceso, así como los valores de dosificación. Así, el esquema que se sigue para el aprovechamiento del agua de lavado se comenta brevemente a continuación.

Al final del día, el camión retorna a la planta con el sobrante en el fondo del trompo. Este sobrante está compuesto por los restos de concreto y el agua de lavado (ej. 50 litros). A continuación, en la planta el operador del camión carga 150 litros de agua y una dosis de AEH, y pone el trompo a mezclar

durante 3 minutos a razón de 12 a 15 vueltas por minuto en sentido de carga y descarga, por lo menos 5 veces, a fin de limpiar la parte superior del trompo y el aletado. El siguiente paso es guardar el camión sin descargar el agua de lavado, para su uso al día siguiente; en el cual se deberán descontar los 200 litros al agua de mezcla, utilizando normalmente el cemento, agregados y aditivos.

Son comunes las devoluciones de concreto, debido no a la falta de calidad de la mezcla, sino a situaciones tales como: cimbras sin terminar, falta de capacitación de los contratistas al pedir y al recibir el concreto, o a errores en las previsiones de volumen por parte del responsable, que no sólo pidió incorrectamente la cantidad de concreto, sino que además no tiene sitio en donde depositar ese sobrante.

En estos casos, el proveedor de concreto cuenta con un producto apto, al que ya se le consumió parte de su vida útil en estado fresco. Con una correcta capacitación y coordinación técnica, se puede adicionar AEH para poner en "stand by" al material y así aprovecharlo, o bien mediante la adición posterior de un acelerante o completando la carga con concreto nuevo. Estudios realizados a concretos recuperados arrojan valores de resistencia iguales e incluso superiores a los de los concretos normales sin el aditivo. Cabe decir que en concretos con altos contenidos de cemento es importante retrasar la reacción de hidratación, por lo que el agregado de AEH a la mezcla le permite a estos concretos mantener una adecuada trabajabilidad durante más tiempo.

El colado en tiempos calurosos es todo un desafío que se maximiza en los concretos con alto contenido de cemento. Estos aditivos permiten, debido a la correspondencia entre dosis y retardo, un control mayor de los tiempos de fraguado mejorando así la calidad del concreto. Mediante la realización de ensayos se pueden obtener curvas muy afinadas que vinculan la dosis con el tiempo de fraguado, e incluso con la temperatura. **C**

**Referencia:** Benini, H. (GRACE Brasil); Persico, J. D., (GRACE Argentina), "Aditivos Estabilizadores de Hidratación", en *Hormigonar*, Revista de la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, núm. 10, diciembre, 2006.



## Mezclas de concreto con alto contenido de cemento de escorias

**L**a corrosión del acero de refuerzo por cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) en el agua de mar resulta la principal causa del deterioro prematuro en las estructuras marinas. En este sentido, es evidente que el aumento de la resistencia del concreto a la penetración de  $\text{Cl}^-$ , es esencial para alargar la vida útil de estas estructuras. A pesar de la complejidad de los mecanismos de transporte en el concreto, la difusión sigue siendo considerada como uno de sus principales mecanismos; entonces la medición de la difusibilidad de  $\text{Cl}^-$  se hace en extremo importante.

En la actualidad, los códigos ASTM C1202 y NT BUILD 443 recogen los métodos principales para determinar la resistencia del concreto a la penetración de  $\text{Cl}^-$ . Estos métodos requieren por lo menos 28 días de curado estándar; preferiblemente cuando se utilizan materiales cementicios suplementarios (MCS).

Se ha demostrado que los MCS, tales como los cementos de escoria, cenizas volantes y humo de sílice, retrasan el inicio de la corrosión, al limitar la entrada de  $\text{Cl}^-$ , debido a que forman una microestructura más densa y a que tienen un menor porcentaje de poros interconectados y una mejorada interfaz de transición entre la matriz y las partículas del agregado. Los cementos de escoria se utilizan comúnmente en China, en volúmenes elevados (de 50 a 80%) para la construcción de estructuras marinas, con el propósito de mejorar la resistencia a la penetración de  $\text{Cl}^-$ . Los aspectos más importantes, de un estudio desarrollado en este país asiático, se presentan en el presente escrito.

La resistencia a la compresión del concreto se incrementa con la madurez, la cual depende del tiempo y de la temperatura. Por otra parte, la madurez a edad temprana se incrementa con la temperatura del curado; resultando, en que en estas edades, se logren concretos muy resistentes a la penetración de  $\text{Cl}^-$ .

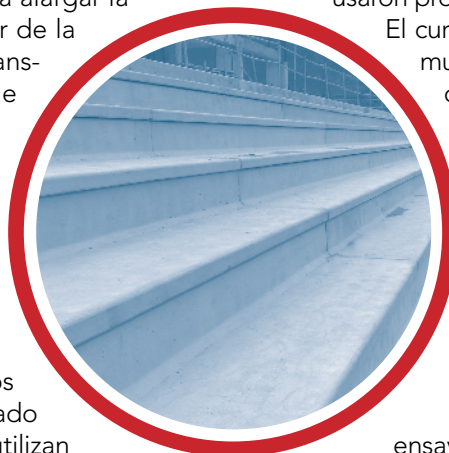
En esta investigación se utiliza el calor en el curado para acelerar las reacciones de hidratación y la madurez de un concreto elaborado con cemento de escorias; usando para ello la carga que especifica ASTM C1212 y el coeficiente de penetración de  $\text{Cl}^-$  de NT BUILD 443. La relación entre la carga y el coeficiente de penetración de  $\text{Cl}^-$ , nos permite predecir la resistencia a cloruros, en muestras de concretos elaborados con cemento de escoria, ensayados a edad temprana.

En el estudio se elaboraron mezclas con 30% de cemento Portland y 70% de cemento de escorias; en donde se usó además arena de río, con un módulo de finura de 2.8 y piedra triturada de 25 mm de tamaño máximo. La relación agua/material cementante ( $w/cm$ ) varió desde 0.28 hasta 0.52. Cabe decir que se usaron procesos de curado estándar y acelerado.

El curado estándar consistió en envolver las muestras y sus moldes en mantas húmedas cubiertas de plástico durante las primeras 24 horas, tras lo cual se desmoldan y se sumergen en agua de cal saturada a 20°C por 27 o 89 días. El curado acelerado se realizó en una cámara ambiental programable en la que se incrementa la temperatura hasta 75°C durante 17 horas; seguido de un enfriamiento a 20°C durante tres horas y media.

En general, de los resultados de los ensayos, se concluye que cuando la relación  $w/cm$  es menor a 0.52, las mezclas de concreto con altos volúmenes de cemento de escoria tienen un buen desempeño. Utilizando los 28 días de curado estándar, la carga según ASTM C1202 se encontró que era menor de 1000 coulombs. Asimismo, utilizando los 90 días de curado estándar, el coeficiente de penetración de  $\text{Cl}^-$  por NT BUILD 443 se encontró que era inferior a  $1.15 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ . Ambos valores indican que las mezclas de concreto pueden considerarse adecuadas para su uso en estructuras reales bajo condiciones severas, tales como las que impone el medio marino. En ambos casos, para el ensayo de carga y de coeficiente de penetración de  $\text{Cl}^-$ , existió una buena correlación entre los datos obtenidos utilizando curado acelerado y los obtenidos mediante curado estándar; con un coeficiente de correlación mayor a 0.90. **C**

**Referencia:** Wang C.; Wang D., "Evaluation of concrete mixtures with high slag cement contents", en *Concrete International*, julio, 2011.



MÓDULO DE ELASTICIDAD

## Indentación instrumentada y Ultrasonido

**A**ctualmente, dos de las técnicas empleadas para la medición del Módulo de Elasticidad (E) de los materiales son la de ultrasonido y la de indentación instrumentada. En este escrito se exponen los resultados de un estudio experimental en una amplia gama de materiales cerámicos, metálicos monocristalinos, policristalinos, amorfos y compuestos; buscando concordancia entre los valores obtenidos por una u otra técnica, y con lo que se especifica en la literatura especializada.

El conocimiento del Módulo de Elasticidad resulta indispensable para poder diseñar cualquier elemento sometido a esfuerzos. El ensayo de indentación instrumentada es una técnica utilizada para medir propiedades mecánicas de películas delgadas, materiales con superficies modificadas y fases de tamaño nanométrico. La técnica consiste en presionar un cuerpo rígido (indentador) sobre la superficie de una probeta, controlando simultáneamente la fuerza aplicada y la profundidad de penetración del indentador. Por su parte, la técnica de ultrasonido, también empleada para evaluar el comportamiento elástico del material isotrópico, lo hace a través de mediciones de la velocidad de propagación de las ondas acústicas longitudinales o de presión, y transversales en su interior.

Las probetas empleadas fueron de geometría cilíndrica o cuadrada. En su mayoría, las aleaciones metálicas se prepararon mediante pulido metalográfico estándar. Las capas de Nitruro de Titanio (TiN), con espesor de 3  $\mu\text{m}$ , se depositaron por medio de un proceso de deposición física de vapor de arco catódico en un reactor comercial

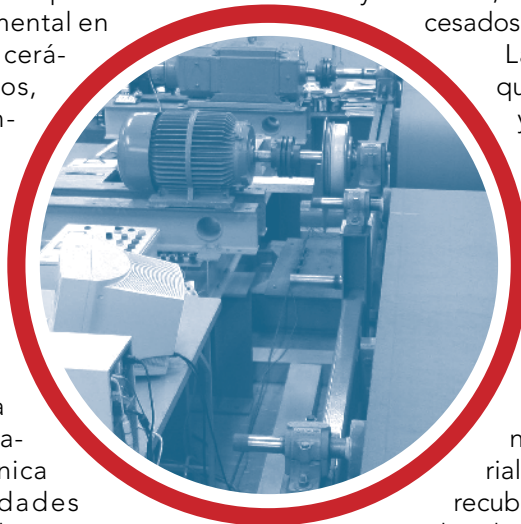
sobre acero de herramienta AISI M2 e inoxidable austenítico AISI 304.

El montaje experimental para las mediciones por ultrasonido consistió en un pulsador/receptor Panametrics 5072PR y dos transductores Aerotech de 5 MHz y 6,4 mm de diámetro. Las señales fueron digitalizadas por un osciloscopio Agilent Infiniium 54820A con resolución vertical de 8 bit, usando una frecuencia de muestreo de 500 MHz. Las señales fueron llevadas a la PC a través de la red de área local para su posterior procesamiento. Todos los cálculos fueron realizados en el Matlab™. Cabe decir que los ensayos de indentación instrumentada se realizaron con un equipo Fischerscope H100V con indentador Vickers y capacidad entre 0,4 mN y 1.000 mN, cuyos datos igualmente fueron procesados con el Matlab™.

La investigación realizada arroja que ambas técnicas, de ultrasonido y de indentación son una gran herramienta para la medición de E en materiales de ingeniería. La técnica de ultrasonido, en la forma empleada, sólo permite la medición en materiales con una geometría que tenga un área superior a 1  $\text{cm}^2$ ; debido al tamaño y frecuencia de los sensores. Además de esto, la técnica no se puede implementar en materiales monocristalinos, ni en sistemas recubiertos con capas de espesores en el orden de los micrómetros.

Los resultados muestran en general gran concordancia entre los valores obtenidos por la técnica de ultrasonido y los descritos en la literatura. Sin embargo, para algunas muestras de tamaño pequeño y monocristalinas no fue posible medir su E mediante ultrasonido. Por otra parte, la técnica de indentación instrumentada estima razonablemente los valores del E, particularmente en materiales amorfos, mientras que en algunas aleaciones policristalinas se obtuvo una mayor desviación frente a los valores medidos por ultrasonido. ◻

**Referencia:** Meza J. M.; Franco E. E.; Farías M. C. M.; Buiocchi F.; Souza R. M.; Cruz J., "Medición del Módulo de Elasticidad en materiales de ingeniería utilizando la técnica de indentación instrumentada y de ultrasonido", en *Revista de Metalurgia*, 44 (1), enero-febrero, 52-65, ISSN: 0034-8570, 2008.



## PERMEABILIDAD

# Permeabilidad del concreto en ambiente marino sumergido

**P**or lo general, el agua de mar presenta una composición química uniforme, caracterizada por mostrar un 3.5% de sales solubles en peso. Varios autores coinciden en que las mayores concentraciones iónicas se deben en este caso a las del Na<sup>+</sup> y del Cl<sup>-</sup>, en proporciones de 11,000 y 20,000 mg/litro, respectivamente. También afirman que suelen presentarse cantidades significativas de Mg<sup>2+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; normalmente 1.400 y 2.700 mg/litro respectivamente; variando el pH entre 7.5 y 8.4.

Éstas son las razones por las que el concreto expuesto a un ambiente marino puede deteriorarse. Pueden mencionarse factores como: los efectos combinados de la acción química de estos constituyentes del agua de mar sobre los productos de hidratación del cemento, la expansión álcali-agregado (cuando hay agregados reactivos), la presión de cristalización de sales en el concreto (si una cara de la estructura está sometida a condiciones de humedad y la otra a condiciones de secado), la acción del hielo en climas fríos, la corrosión de las armaduras y la erosión física por la acción de las olas y de las partículas en suspensión. Todos estos aspectos hacen que el concreto se torne más permeable.

De todas las posibles patologías, la corrosión de las armaduras suele ser la principal causa de deterioro del concreto en estructuras de concreto armado expuestas al agua de mar. En cuanto a esto, la normativa internacional de aplicación para el proyecto de obras marinas ha ido progresivamente incrementando las exigencias relativas a la calidad del concreto (en cuanto a tipo y contenido mínimo de cemento y relación agua/cemento (a/c) máxima), de modo que éste no sufra una degradación significativa durante la vida útil de la estructura. De esta manera, la actual Instrucción Española de Concreto Estructural EHE exige, para

ambiente marino sumergido, utilizar concretos de relación a/c menor a 0.50, contenido de cemento superior a 325 kg/m<sup>3</sup>, el uso de cemento de características marino-resistentes (MR) y un recubrimiento superior a 45 mm. Otras normativas internacionales tienen requisitos similares o incluso más restringidos, como el ACI 357R (ACI, 2002) que para estructuras "costa afuera" establecen a/c menores a 0.45 y recubrimiento mayores a 50 mm. Sin embargo, en España durante muchos años el concreto utilizado en ambiente marino sumergido ha sido de categoría H-25 (25 MPa de resistencia a compresión a los 28 días) ó incluso inferior, incumpléndose así los actuales requisitos del contenido de cemento y de a/c.

En cuanto al contenido de cloruros en el concreto armado, la EHE permite hasta el 0.4% (en peso de cemento) de cloruros totales; valor definido habitualmente en las normativas internacionales, salvo en el ACI, en donde se fija el límite en el 0.15% de cloruros solubles en agua. El propósito de este escrito es mostrar los resultados de una investigación que profundiza

en el comportamiento del concreto armado utilizado en los cajones de dos muelles (en adelante, Muelle A y Muelle B) construidos en ambiente marino sumergido, en la costa Mediterránea. El concreto de estas estructuras, es de categoría H-25, relación a/c igual a 0.50, contenido de cemento igual a 300 kg/m<sup>3</sup> y recubrimiento de 40 mm.

Para desarrollar la investigación, en primer lugar se analizó la información correspondiente a la fabricación del concreto y datos del proyecto de los cajones. Tras la extracción de los testigos, en el laboratorio se inspeccionó el aspecto del concreto y de las armaduras de refuerzo, para a continuación someterlos a una serie de ensayos de caracterización del material. Entre los ensayos realizados se encuentran: contenido de cloruros, resistencia a la compresión, velocidad de propagación de ultrasonidos, penetración de agua, porosidad abierta, absorción de agua por inmersión y absorción de agua por capilaridad; además de la estimación del módulo de elasticidad y de la permeabilidad al agua a partir de los resultados de algunos de los anteriores ensayos. **C**

**Referencia:** Bermúdez Odriozola M. Á.; Alaejos Gutiérrez P., "Permeabilidad a los cloruros del hormigón armado situado en ambiente marino sumergido", en *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 22, núm. 1, abril 2007, [www.ing.puc.cl/ric](http://www.ing.puc.cl/ric)

