



**Eduardo de J. Vidaud Quintana**

Ingeniero Civil/Maestría en Ingeniería.

Su correo electrónico es: [evidaud@mail.imcyc.com](mailto:evidaud@mail.imcyc.com)



## DURABILIDAD

# Niveles críticos de cloruros en el concreto (Parte III)

**N**UMEROSOS PARÁMETROS afectan el valor del nivel crítico de contenido de cloruros (CPCL<sup>-</sup>); muchos de los cuales se encuentran interrelacionados entre sí.

Entre otros parámetros pueden citarse: la interfaz acero – concreto, la concentración de iones hidróxido en la solución de poro (nivel de pH), el potencial electroquímico, el estado de la superficie y composición química del acero de refuerzo, el tipo de aglomerante, el contenido de humedad del concreto, la disponibilidad de oxígeno en la superficie del acero, la relación agua-material cementante, la resistividad eléctrica del concreto, el grado de hidratación, la temperatura, la fuente de cloruro (mezclado desde un principio o penetrado en el concreto endurecido), el tipo de catión que acompaña al ion cloruro, así como la presencia de otros materiales; por ejemplo, sustancias inhibitoras.

Se considera que la condición de la interfaz acero-concreto es el factor más influyente; al igual que el pH de la solución de los poros del concreto y el potencial del acero. Esta variedad de factores involucrados hace que el contenido crítico de cloruro sea difícil de estimar con certeza en la mayoría de las estructuras.

Entre los métodos para atenuar el efecto indeseado de estos, se encuentran el uso de inhibidores de corrosión y el revestimiento del acero de refuerzo. La ventaja de usar inhibidores de corrosión para proteger al acero de refuerzo, es que el inhibidor queda bien distribuido en el concreto y así protege todo el acero. Su papel es modificar la química de la superficie del acero para mitigar o prevenir el fenómeno de la corrosión.

El revestimiento galvanizado de zinc y el recubrimiento epóxico del acero de refuerzo, son dos tipos de recubrimientos al acero de refuerzo; el primero actúa como un revestimiento de sacrificio, y en general aumenta el CPCL<sup>-</sup>. Treadaway *et. al.* mostraron que el acero galvanizado en una estructura de

concreto expuesto a condiciones corrosivas, retrasó el inicio de la corrosión y resultó en un CPCL<sup>-</sup> de 0,9% en peso del cemento. Resultados de la supervisión de estructuras de concreto en ambiente marino durante un período de 8 a 23 años sugirieron un CPCL<sup>-</sup> de 0.64% con acero galvanizado, mientras que el acero no tratado mostró uno de 0.2%.

Bautista y González, por su parte encontraron que la velocidad de corrosión en aceros galvanizados podía ser más de 8 veces menor que la velocidad en el acero sin protección; después de 12 meses de exposición a una solución de cloruro. El efecto inhibitor de la galvanización parece aumentar en el concreto de alto desempeño.

En lo que respecta a la atenuación de la corrosión de la armadura mediante la aplicación de recubrimiento epóxico, se comenta que en general se detienen los iones agresivos que llegan a la superficie del acero. Erdogdu *et. al.* mostraron que la velocidad de corrosión de barras de acero recubiertos fue inferior a 0.01 mA/m<sup>2</sup> después de una exposición de 25 meses; comparada con una de entre 2 y 100 mA/m<sup>2</sup> en barras de acero sin recubrimiento, después de una exposición de 5 meses.

Al-Amoudi *et al.* mostraron a su vez el efecto sobre CPCL<sup>-</sup> del acero recubierto de epoxi con diversos grados de daños en el recubrimiento. Con 1% de daño al recubrimiento, el CPCL<sup>-</sup> era de aproximadamente el 2% en peso del cemento; mientras que al 2%, los CPCL<sup>-</sup> se mantuvieron por debajo de 0.4%.

Estudios recientes han demostrado que el acero con recubrimiento epóxico puede ofrecer buenos resultados, incluso bajo exposición severa a cloruro. También se han sugerido revestimientos a base de materiales cementantes en lugar de revestimientos de epóxicos, ya que tienen un mejor desempeño; debido a la buena adherencia, así como a la aceptable protección contra la corrosión. **C**

### REFERENCIAS:

Traducido y adaptado de: <http://www.masterbuilder.co.in/critical-chloride-content-in-reinforced-concrete/>



## LOSAS DE PISO

# ¿Es importante el alabeo en los pisos industriales? (Parte II)

**S** IEMPRE HA SIDO una preocupación el alabeo y la contracción de los pisos; sin embargo, los altos costos que implica la resolución de estos problemas en los pisos industriales, han aumentado enormemente en los últimos años.

Muchas son las razones de lo anterior, pero parte del problema radica en que muchos aún no se percatan de que las cosas han cambiado; lo que en el pasado funcionaba, en el futuro podría transformarse en un problema judicial. Todo ha evolucionado los diseños de las mezclas de concreto, los materiales, los detalles y las propias prácticas constructivas. Han aumentado las resistencias a la compresión del concreto comunes en pisos; así como también en los años 60's, el diseño típico establecía resistencias entre 17 y 26 MPa; sin embargo, ahora son comunes las resistencias de entre 34 y 43 MPa.

Los concretos con resistencias mayores, generalmente (no siempre) se contraen más y siempre poseen un módulo de elasticidad mayor. El módulo de elasticidad es un factor muy importante; porque mientras mayor sea, mayor será el alabeo que se producirá, y menor será el relajamiento en el tiempo de los bordes alabeados hacia abajo; debido al efecto de la fluencia.

Por otra parte las propias construcciones también han cambiado con los años; muchas poseen aire acondicionado y han aumentado las exigencias en cuanto a calefacción, otras incluyen cámaras frías o congeladores. Estos aspectos tienden a generar diferenciales de humedad y/o temperatura, lo que induce al aumento del alabeo y de las contracciones.

Además, los terrenos donde se ubican las construcciones también han cambiado. En algunos casos existen grandes extensiones de áreas verdes con sistemas de irrigación, que pueden aumentar la humedad de los terrenos sobre los que se desplantan los pisos; algunos de estos pisos tienen un

alto grado de humedad en su desplante, sin que se consideren barreras de vapor o de paso de humedad.

Pero, ¿quién es el responsable de que los problemas de alabeo y grietas en los pisos hayan ido en aumento?, ¿el contratista, el proveedor de concreto, el ingeniero. En realidad, todos han contribuido al problema; por lo que entonces cada involucrado debe trabajar para minimizarlo. También el propietario debe colaborar aprendiendo todo lo que pueda, insistiendo en la calidad, estando dispuesto a pagar los costos de construcción y los honorarios adecuados; en un piso, más que en cualquier otra parte de la construcción, se obtiene lo que se paga. Por último, debe existir un buen trabajo de equipo, en lugar de la relación antagónica común que ha existido en el pasado.

En ciertas aplicaciones el alabeo es más crítico; por ejemplo, se debe minimizar cuando existe un flujo vehicular importante. En general, las losas sometidas a grandes cargas están más propensas a agrietarse cuando las zonas alabeadas no apoyan en la sub-base. También son críticos los pisos con mejoramientos superficiales o recubrimientos, como los pisos de madera, ya que estos pueden dañarse o no desempeñarse bien cuando se presenta el alabeo.

Las losas alabeadas pueden evaluarse conformando un perfil vertical de la superficie, por medio de un nivel óptico de precisión. Por otra parte, el movimiento vertical a ambos lados de la junta se puede verificar, circulando un vehículo cargado sobre la junta.

El movimiento vertical diferencial esperado no debe de ser mayor a medio milímetro; lo que se puede "apreciar", colocando una mano sobre la junta. La separación entre el lecho bajo la losa alabeada y la sub-base se puede estimar por medio de la extracción de una muestra de concreto endurecido en todo el peralte de la losa (medición de lo que baja la muestra cuando se culmina con el proceso de extracción). **C**

### REFERENCIAS:

Walker, W. W. y Holland, J. A., "The First Commandment for floor slabs: thou shalt not curl nor crack... (hopefully)", publicado en Concrete International, enero 1999.



## CONTROL DE CALIDAD

# El proceso de pesaje en plantas de concreto elaborado

**P**ESAR ES TAN antiguo como el hombre. No hay actividad en el ser humano que no se mida, pese o cuantifique. En la antigüedad, los romanos fueron los que de una forma más racional realizaron las primeras construcciones con mezclas parecidas a lo que hoy se conoce por concreto. Desde las dosificaciones por volumen de la desafiante cúpula del Panteón romano y los vestigios de concretos marítimos hallados en Pozzuoli y Bacoli, hasta el actual concreto dosificado por peso, han pasado cerca de 2000 años.

Todo lo anterior pone en evidencia la importancia que hoy merecen los sistemas de pesaje en la construcción. Conocemos la nobleza de esta mezcla y en honor a su nobleza debemos hoy elaborar los concretos más resistentes y durables a partir de cada vez mejores y más rigurosos controles.

La historia de las balanzas en las plantas elaboradoras de concreto es muy rica, ya que siempre se adoptaron las tecnologías de pesaje más avanzadas y seguras al momento de su fabricación. Los incrementos en la resistencia del concreto, y la reducción en los tiempos de elaboración son necesidades del mercado que han sabido captar los fabricantes de equipos; haciendo que los sistemas de pesaje evolucionen de acuerdo a ellas.

Muchos recordarán las balanzas de brazo con "microswich" utilizadas para el cemento; que cuando pasaba un tiempo sin limpieza perdían sensibilidad, o las palancas de cierre para los agregados; que eran totalmente manuales y en las que el operador de planta no podía distraerse porque sino dosificaba de más. Posteriormente las balanzas de reloj, que con el tiempo endurecían sus delicados mecanismos.

Hoy tenemos las balanzas electrónicas con celdas de carga, más seguras, sensibles y confiables; pero como todo instrumento necesita un seguimiento y mínimo cuidado.

No solo debemos hacer las calibraciones de las balanzas usadas por el solo acto de determinar los errores que puedan existir; sino que en una calibración bien hecha, determinamos las cualidades metrológicas del instrumento que usamos para dosificar, como la fidelidad (cualidad de un instrumento para repetir los resultados) y la movilidad (cualidad de un instrumento para reaccionar a pequeñas cargas).

Una balanza de aditivos que no siente pequeñas cargas es realmente perniciosa, ya que se nos pueden escapar gramos de aditivos que afectan la calidad por un lado o la economía por otro. El tener en buen estado y controladas las balanzas implica que se pueda tener un buen proceso de elaboración de concreto.

Las frecuencias normales de calibración son para balanzas de agregados, cemento, aditivos y agua de una planta concretera, de una vez al mes o después de los 3 mil a 5 mil m<sup>3</sup> producidos, mientras que para las básculas de camiones de una vez al año.

Para las balanzas de laboratorio, debemos tener un seguimiento no menos importante que el de las balanzas de planta, ya que desde aquí se marcarán los lineamientos, para desarrollar las formulas según el tipo de concreto; cuanto más acotadas tengamos las variables de pesadas, mas exactas y representativas serán nuestra fórmulas de laboratorio. Una vez tenido un historial creíble podemos ampliar frecuencias de calibración con seguridad de no estar cometiendo una imprudencia.

Recomendamos que cuando se efectúe una calibración, de cualquier instrumento comprometido con el aseguramiento de calidad, quede fielmente registrado si hubo correcciones de resultados en dicha calibración, esto nos dará las pautas a seguir con respecto a los productos que se elaboraron en ese período y será útil al momento de definir una nueva frecuencia de control. **C**

### REFERENCIAS:

Mettini L., "La importancia de pesar", publicado en Revista Hormigonar, edición n° 6, año 2, agosto 2005.



## ADICIONES

# Concreto con alto volumen de ceniza volante. Revisión bibliográfica (Parte I)

**S** E PRESENTA EN este escrito el resultado de una revisión bibliográfica en torno a los Concretos con Alto Volumen de Ceniza Volante (HVFC por sus siglas en inglés); haciendo énfasis en los Concretos de Alta Resistencia (CAR, por sus siglas en inglés) y los Concretos de Alto Desempeño (CAD, por sus siglas en inglés). La información sobre el uso de las cenizas volantes (FA, por sus siglas en inglés) en el concreto, fue ampliamente estudiada para así obtener una base de datos sobre su empleo en altos volúmenes para pavimentos de concreto.

El uso de los HVFC en la construcción, es una solución más al impacto ambiental causado por la industria del cemento; como alternativa en la era del desarrollo sostenible. En este orden aparecen los HVFC; pues estos contienen una menor cantidad de cemento y un mayor volumen de FA (hasta 60%). La literatura refiere que la proporción de FA en el concreto puede variar de un 30% a un 80% para las diferentes calidades de concreto.

El uso de la FA en concreto fue inicialmente estudiado por Davis *et. al.* en la Universidad de California en 1937. A pesar de que las investigaciones para promover su empleo en la construcción se hicieron extensivas por todo el mundo, solo se presentaron unos pocos hitos hacia la década de los años 60, en países desarrollados.

Como se conoce, la resistencia a la compresión del concreto es el parámetro más importante para evaluar su calidad. Según el American Concrete Institute (ACI, por sus siglas en inglés), un concreto de resistencia normal, es el que tiene una resistencia a la compresión no mayor a 42 MPa; el resto de los concretos con resistencias superiores son los que se conocen como CAR.

Con los avances en la tecnología, la demanda de los CAR se vio incrementada; y fue entonces que aparecieron los CAD. Aitcin en 1990 aseveró que los CAD, más que los CAR, son concretos con elevada resistencia y que también se comportan mejor en muchos aspectos (durabilidad, resistencia a la abrasión y al ataque por sulfatos).

El ACI define el CAD como "un concreto que satisface ciertos criterios propuestos, que logra superar las limitaciones de los concretos convencionales, y que adicionalmente presenta un mejor comportamiento

tanto en estado fresco, como endurecido; cumpliendo con requisitos especiales de desempeño y uniformidad". De hecho, en los CAD los ingredientes básicos del concreto normal son proporcionados de tal manera que se logren eficientemente las propiedades deseadas de resistencia y durabilidad.

Una de las principales críticas hacia esta definición se ubica en que la durabilidad del concreto no sea obligatoria, sino que debe ser una de las opciones. La idea de que la elevada resistencia automáticamente conduce a una mayor durabilidad, ha resultado probablemente en muchos casos de agrietamiento y deterioro prematuro de las estructuras de CAD; tal y como refirieron Mehta y Burrows en 2001.

La razón radica en las proporciones de la mezcla que se utilizan para alcanzar elevada resistencia. Por ejemplo, mezclas de CAR comerciales, son a menudo diseñadas para obtener resistencias a la compresión a los 28 días de entre 50 y 80 MPa, con altos valores de resistencia inicial (en el orden de 25 a 40 MPa a las 24 horas), y con revenimientos de entre 15 y 20 cm para facilitar la trabajabilidad. Por lo general, estas mezclas se componen de un elevado contenido de cemento; de entre 450 y 500 kg/m<sup>3</sup> de cemento Portland o mezclas de este que contienen una cantidad relativamente pequeña de humo de sílice y cenizas o escoria, con una baja relación a/c, del orden de 0,3 (con aditivo superplastificante), y un agente incorporador de aire para proteger al concreto de los ciclos hielo-deshielo. La experiencia ha demostrado que estas mezclas de CAR son propensas a sufrir agrietamiento temprano por varias causas como: elevada contracción térmica por el alto contenido de cemento Portland, gran contracción autógena por la baja relación a/c, y una alta contracción por secado debido a la alta relación pasta de cemento - agregado.

En 1990 Aitcin definió al CAD como un concreto de baja relación agua - ligante, con una óptima relación agregado - ligante; para de esta manera controlar su estabilidad dimensional (es decir, la contracción por secado), y que reciba un adecuado curado húmedo (para controlar la contracción autógena). Una definición anterior, propuesta por Mehta y Gjorv en 1982, refería a que el empleo de un CAD debía materializarse siempre que se necesitara: una alta trabajabilidad, así como elevadas resistencia y durabilidad. **C**

### REFERENCIAS:

Aggarwal V., Gupta S. M., Sachdeva S. N., "CONCRETE DURABILITY. Through High Volume Fly Ash Concrete (HVFC) A Literature review", *Revista Internacional de Ciencias de la Ingeniería y la Tecnología*, Vol. 2 (9), 2010, 4473-4477.