



**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 II)

**D**IVERSOS ENFOQUES refieren al nivel crítico permisible del contenido de cloruros ( $CPCL^-$ ). Uno de ellos refiere al contenido libre de cloruros, partiendo del supuesto de que el  $CPCL^-$  refleja el contenido de iones agresivos y de las propiedades inhibitoras de la matriz cementicia. Los iones cloruro que se remueven de la solución de los poros como resultado de la interacción con la matriz sólida son relativamente inmóviles y no pueden ser transportados a la superficie del acero. Esto debería, en teoría, favorecer el uso del contenido de cloruros (cloruro soluble en agua) para representar el  $CPCL^-$ .

Pettters muestra una amplia gama de valores de  $CPCL^-$  en términos de concentración de cloruro libre en probetas de mortero con relaciones agua - cemento (a/c) también variables. Investigaciones más recientes reportan a su vez valores de CTL en términos de contenido de cloruros libres en peso del cemento, desde 0,3 a 2,0 %. Otros trabajos sugieren que sólo el cloruro libre contribuye al proceso de corrosión, y por consiguiente se consideró el contenido de cloruro libre como la mejor expresión de esto.

Estas propuestas han sido impugnadas en la actualidad, al considerarse en primer lugar que los cloruros adheridos al recubrimiento del acero están relacionados con la formación de cloruros libres; cuando el pH del concreto es menor al necesario para que se produzca la despasivación, y segundo porque los productos de hidratación del cemento (ej. hidróxido de calcio) resisten una caída del pH a un valor particular de este. Vale destacar que las normas vigentes no abordan el contenido de cloruros en relación con el riesgo de corrosión, en gran parte debido a las razones antes mencionadas. El contenido de cloruro libre frecuentemente se expresa como una función de la concentración de iones hidroxilo en la solución de poros.

Un segundo enfoque hace referencia al  $[Cl^-]:[OH^+]$ ; suponiendo que los cloruros en

el concreto no constituyen riesgo de corrosión, y que la concentración de iones hidroxilo reflejan el contenido inhibitor del medio ambiente para mantener elevado el pH de la solución de poros. En algunas investigaciones se ha utilizado la relación entre el contenido de cloruro libre y la concentración de hidroxilo, para expresar el valor de  $CPCL^-$ .

La representación del  $CPCL^-$  según el nivel total de cloruro es el método más utilizado y es el enfoque adoptado en las normas. Esta representación como un porcentaje en peso de cemento, se ve favorecida porque es relativamente fácil de determinar y porque involucra el riesgo de corrosión debido al efecto de los cloruros; así como el efecto inhibitor de los productos de la hidratación del cemento. En la etapa inicial de la corrosión, el pH en el recubrimiento del acero decrece debido a la reacción electroquímica que se produce entre los cloruros y los iones ferrosos; la corrosión se inicia como picaduras y el pH puede decrecer por debajo de 10. Una caída del pH libera al menos el 90 % de los iones cloruro totales circundantes, lo que propicia la corrosión, con el acceso de oxígeno, agua y cloruros; que aceleran la velocidad de corrosión. Esto sugiere que el contenido total de cloruro es un indicador más preciso del riesgo de corrosión y la naturaleza inhibitora del cemento puede ser así mejor reflejada por el contenido total de cemento en lugar del pH de la solución de poro. En resumen el contenido total de cloruro en peso del cemento es la mejor representación del  $CPCL^-$ .

Por último, en un trabajo reciente se sugirió que se proporciona una representación más adecuada de las propiedades inhibitoras y agresivas del concreto, por su capacidad de neutralización de ácidos y el ácido contenido en el cloruro soluble. Hoy existen reportes que establecen el contenido de ácido que se necesita para reducir el pH de la pasta de cemento y concreto en suspensión en agua, hasta un valor particular. **C**

### REFERENCIAS:

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



## ADITIVOS

# Aditivos inhibidores de corrosión

**E**L PRINCIPAL COMPONENTE de las armaduras de acero es el hierro (Fe). Los átomos de hierro cargados ( $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ ) son más activos pues reaccionan con las moléculas o compuestos cargados negativamente para formar compuestos neutros. En cada uno de los estados activos,  $\text{Fe}^{2+}$  (ferroso) y  $\text{Fe}^{3+}$  (férrico), pueden ocurrir diferentes tipos de reacciones que conducirán a la formación de compuestos que cubran la barra protegiéndola, y en otros casos provocando corrosión.

En ausencia de cloruros y por la formación de la portlandita que le da un carácter básico al concreto (los valores de ph se encuentran entre 12.5 y 13.5), se forma de manera natural una barrera protectora de óxido. Debido a la alcalinidad del concreto el  $\text{Fe}^{2+}$  se convierte en  $\text{Fe}^{3+}$  y reacciona con el oxígeno. Esta película de óxido técnicamente es denominada como capa o superficie pasivante.

Esta capa no es perfectamente homogénea; existen puntos en los que quedan sectores de óxido ferroso, que pueden reaccionar con los cloruros causando la corrosión por picado de las armaduras. La concentración de cloruros necesaria para iniciar la corrosión es del orden de  $900 \text{ g/m}^3$ ; sin embargo, los cloruros alcanzan al acero en pequeñas imperfecciones de la capa pasivante. Estos defectos ocurren como es lógico en el óxido, dejando pequeños puntos desprotegidos, donde los iones reaccionan con el acero de refuerzo formando complejos solubles con  $\text{Fe}^{2+}$ . Estos complejos reaccionan con el oxígeno para formar óxidos de hierro (herrumbre). Más cloruros producirán la difusión de nuevos óxidos a través del hierro, quedando la capa pasivante destruida.

La difusión de los complejos hierro-cloruro con su consecuente formación de productos sólidos de la corrosión, hace que el volumen de estos sea cuatro veces superior que sus materiales constituyentes, lo que provoca tensiones no toleradas por el concreto. Se puede reconocer entonces la corrosión por la aparición de manchas

de herrumbre en la superficie, desprendimientos, astillado y fallas que conducen a la salida de servicio de la pieza.

Los aditivos inhibidores de corrosión modifican químicamente la superficie del acero con el propósito de disminuir o detener este proceso. Estos no detienen el ingreso de los cloruros, sino que protegen el acero frente a grandes concentraciones del mismo. Son una solución de nitrito de calcio que se mezcla en el concreto en estado fresco; permitiendo que todo el acero de refuerzo quede en contacto en toda la superficie, dando así una completa protección.

Estos aditivos protegen las armaduras ayudando a la defensa natural que tiene el acero contra la corrosión. En un medio alcalino, el acero forma óxido a partir del acero, el oxígeno y los iones hidroxilos. En el comienzo de la reacción, el óxido se forma por iones ferrosos ( $\text{Fe}^{++}$ ); debido a que se encuentra inmerso en un medio alcalino, los iones ferrosos pasan a ser iones férricos.

Los iones (nitritos) ayudan a la capa natural de óxido férrico, evitando que los cloruros reaccionen con los iones ferrosos de tres maneras: (i). oxidan los óxidos ferrosos transformándolos en óxidos pasivantes (que no son atacados por los cloruros), (ii). cuando los aniones nitrito se adhieren químicamente a la superficie del acero crean una capa pasivante reforzada de óxido férrico (que rodean los defectos de la capa pasivante protegiéndola del ataque de los cloruros), y (iii). En el caso del concreto fisurado, mientras el nitrito de calcio continúa protegiendo, muchas de las barreras físicas utilizadas son vulnerables a diferentes estados tensionales; lo que hace que el acero sin protección quede expuesto a los cloruros.

Con la aplicación de estos aditivos, el concreto experimenta una ganancia de resistencia final y un leve acortamiento en los tiempos de fraguado. La simpleza en su empleo (se mezcla con el concreto fresco) hace que sea una solución sencilla de posible aplicación para mejorar la vida útil de las estructuras. **C**

### REFERENCIAS:

Pérsico J. D., "Aditivos inhibidores de corrosión", publicado en Revista Hormigonar, Año 3, Edición No. 9, Agosto 2006.



## SUSTENTABILIDAD

# Beneficios sustentables del concreto

**E**L CONCRETO ES el material hecho por el hombre más utilizado en el mundo, incluso superior a la madera, el acero y el plástico.

Ninguno de los anteriores puede reemplazarle en términos de efectividad, precio y desempeño; pero pocos son conscientes de los beneficios ambientales que su empleo implica.

La Iniciativa Sustentable del Cemento (CSI, por sus siglas en inglés) ha establecido un nuevo grupo de trabajo para explorar las cualidades del concreto que contribuyen con una sociedad más sostenible. Entre ellas las que pueden citarse: resistencia y durabilidad, versatilidad, bajo mantenimiento, disponibilidad, resistencia al fuego, producción de bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, uso de energía eficiente en su producción, excelente masa térmica, producido y utilizado con materiales locales y cualidades reflectantes.

En cuanto a la resistencia y durabilidad del concreto, la CSI advierte que este es utilizado en la mayoría de los edificios, puentes, túneles y presas por esa demostrada resistencia; propiedad que a la vez va ganando con el tiempo. Es un material que no se debilita por la acción de la humedad, el moho o las plagas, pudiendo sus estructuras resistir desastres naturales como terremotos y huracanes.

La versatilidad del material puede apreciarse al tomar en cuenta que no solo se utiliza en edificios, puentes, túneles y presas; además está presente en la construcción de pavimentos, sistemas de alcantarillado y pistas de aterrizaje.

Al ser un material inerte, compacto y sin poros no se daña por la humedad ni pierde propiedades con el tiempo; esta es la principal razón por la que necesita bajo mantenimiento. Asimismo; en comparación con otros materiales de construcción, por ejemplo el acero, el concreto presenta menores costos de producción y continúa siendo muy asequible.

Las estructuras de concreto constituyen también barreras resistentes, altamente eficaces

para la propagación del fuego. En la producción, de concreto y cemento, igualmente se emiten a la atmósfera una cierta concentración de CO<sub>2</sub>, que si se compara con otros materiales de construcción, es pequeña. En este aspecto puede afirmarse que el 80 % de las emisiones CO<sub>2</sub> de un edificio no son generadas por la producción de los materiales utilizados en su construcción; sino son producto de las liberadas durante su ciclo de vida (iluminación, calefacción, aire acondicionado).

Al producir concreto, se afirma que el proceso se realiza con eficiencia energética pues se utiliza menos energía que en la producción de otros materiales de construcción comparables. Un estudio citado por el NRMCA (Asociación Nacional del Concreto Premezclado de los Estados Unidos) concluyó que la energía necesaria para producir una tonelada de cemento fue de 1,4 GJ/t, comparado con los 30 GJ/t necesarios para producir el acero.

Referido a la masa térmica, los muros y pisos de concreto transmiten más lento el paso del calor, lo que reduce las oscilaciones de temperatura y también disminuye las necesidades de energía por calefacción o aire acondicionado; ofreciendo ahorro considerable de energía en todo el año y durante el tiempo de vida del edificio. En el estudio citado por el NRMCA se encontró que las paredes de concreto reducen la necesidad de energía en más del 17 % en un hogar típico.

Al mencionar que el concreto puede ser producido y utilizado localmente se hace referencia a que con esto se ahorran significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producirían durante el transporte.

Por último se hace referencia a las cualidades reflectantes del concreto, mismas que son aprovechadas para la construcción de pavimentos y paredes de edificios; pues significa que a mayor cantidad de luz reflejada y menor calor absorbido, resultando en temperaturas más frías, se reduce a su vez el uso de energía para el empleo de aire acondicionado. **C**

### REFERENCIAS:

CSI, (2014). "Sustainability Benefits of Concrete", publicado en :<http://www.wbcdcement.org/index.php/about-cement/benefits-of-concrete#1>, visita 11 de marzo de 2014.



## LOSAS DE PISO

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

**E**L ALABEO SE produce cuando la parte superior de la losa trata de ocupar un volumen menor que la parte inferior; lo que puede suceder por diferenciales entre los lechos superiores e inferiores, en lo que respecta a la contracción, la temperatura y el contenido de humedad.

Para que la losa se mantenga sana, sus bordes deben levantarse. Estos bordes pueden estar asociados al extremo discontinuo de la losa, a una junta de construcción o de contracción, o a una grieta suficientemente abierta. Las esquinas de las losas sin restricciones verticales, entonces, se deberán levantar más que el resto de las zonas, para que no se produzca agrietamiento.

Tanto las losas de piso como las de entrepiso se alabea; sin embargo, las primeras lo hacen más. En muchas losas de piso (que se conciben bajo el flujo vehicular) los bordes se levantan de la rasante; y con frecuencia son mal diagnosticadas, creyéndose que tienen una sub-base débil.

A medida que los bordes de las losas tratan de alabearse hacia arriba, la gravedad y la fluencia lenta producen un efecto contrario, que sólo puede compensar parcialmente el alabeo. La magnitud del alabeo y el perfil de éste, dependen de complejos factores; como el potencial de contracción y la resistencia del concreto, el soporte de la subrasante, las condiciones de humedad y de temperatura, el espesor de la losa, y la separación entre juntas.

Por distintas razones, el alabeo constituye un problema. En la superficie de la losa se producen esfuerzos considerables de tensión; desde los bordes que tienden a alabearlos hacia arriba. De acuerdo a lo anterior el peso propio o cualquier otra acción que intenta empujar el borde hacia abajo, de conjunto con la contracción por secado (CS), puede producir agrietamiento.

Muchas de las grietas de piso que se atribuyen a la retracción, se deben en realidad a una combinación entre los esfuerzos de alabeo y los de CS; siendo generalmente los de alabeo mucho mayores que los de CS. Estas grietas pueden

desarrollarse posteriormente debido al tráfico de montacargas, que junto a la penetración de líquidos a través de las juntas; pueden inducir a una falta de estética en la losa del piso o provocar otras dificultades.

Al deslizarse las ruedas a través de los bordes de las juntas alabeadas (sin "pasajuntas") pueden hacer que un borde baje primero, y luego el otro; contribuyendo al desconchado de la junta, falla en el relleno o sello de la junta, y otros problemas adicionales.

El alabeo, en especial el diferencial en una junta o grieta, también puede afectar a los materiales de piso que cubren la losa. Las juntas muy alabeadas o grietas pueden reducir la fluidez del tránsito vehicular de un piso; provocando desagrado en el conductor, problemas en el vehículo y reducción de la productividad.

El alabeo y la CS se encuentran muy relacionados entre sí y no pueden considerarse independientes; de hecho casi todo lo que afecta a la CS, de una manera u otra afectará también al alabeo. No obstante, a menos que una losa de piso se cuele directamente sobre un substrato que genere restricciones de importancia (rasante irregular o una base de piedras de granulometría abierta), los esfuerzos de alabeo excederán por mucho a los de CS.

Según investigaciones; si se tiene un substrato plano, con un coeficiente de fricción razonablemente bajo, los esfuerzos de CS en general no superan magnitudes de entre 0.1 y 0.4 MPa; mientras que los del alabeo pueden alcanzar magnitudes de entre 1.4 y 2.8 MPa, y más. Así, el término "grieta por CS" no es el más apropiado para la mayoría de las grietas de las losas de piso; es más preciso hablar de "grieta por alabeo" o "grieta por alabeo y CS".

Si comparamos estos esfuerzos con los típicos de la capacidad resistente a flexión del concreto (MR de entre 3 y 4.5 MPa), se aprecia la importancia del alabeo; pues es obvio que la capacidad de carga de la losa puede verse reducida en forma significativa por los importantes esfuerzos inducidos por dicho fenómeno. **C**

### REFERENCIAS:

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