



ARTÍCULO TÉCNICO

PROTECCIÓN DE HORMIGÓN ARMADO CON BAJO RECUBRIMIENTO DE ARMADURAS

TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
2	INTRODUCCIÓN	3
3	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE LA ARMADURA DE ACERO	3
3.1	AUMENTO DE RECUBRIMIENTO CON MORTERO U HORMIGÓN ADICIONAL	3
3.2	REVESTIMIENTOS INTUMESCENTES	4
4	PROCESO CONTRA LA CORROSIÓN DE LA ARMADURA	4
4.1	PROTECCIÓN CONTRA LA CARBONATACIÓN	4
4.1.1	CARBONATACIÓN – NIVEL DE PROTECCIÓN SENCILLO	4
4.1.2	CARBONATACIÓN – DOBLE NIVEL DE PROTECCIÓN	4
4.1.3	CARBONATACIÓN – MÉTODO ALTERNATIVO	5
4.2	CORROSIÓN INDUCIDA POR CLORUROS	6
4.2.1	CLORUROS – UN SOLO NIVEL DE PROTECCIÓN	6
4.2.2	CLORUROS – DOBLE NIVEL DE PROTECCIÓN	7
5	CONCLUSIONES	8
6	REFERENCIAS	8
7	NOTA LEGAL	9
7	PALABRAS CLAVE	9

1 RESUMEN

El problema del bajo recubrimiento de las armaduras en el hormigón puede ser resuelto mediante la adición de mortero u hormigón suplementario a la superficie externa (Principio 7 Método 7.1 de la Norma Europea UNE-EN 1504-9), o mediante la aplicación de capas protectoras (Principio 1 Método 1.1 y 1.3 de la Norma Europea EN 1504-9) o recubrimientos intumescentes. Este documento técnico analiza las diversas soluciones de Sika y niveles de protección que se pueden aplicar para proteger el hormigón.

2 INTRODUCCIÓN

Un problema recurrente en las construcciones de hormigón armado es el inadecuado recubrimiento de hormigón de las armaduras de acero. Antes de definir una solución al problema, se requiere una comprensión clara de las funciones y los requisitos del recubrimiento de hormigón. En el hormigón armado, el recubrimiento tiene principalmente tres objetivos distintos:

1. Protección contra el fuego: Provisión de protección contra incendios para el refuerzo de acero
2. Durabilidad: La protección del acero de las armaduras contra la corrosión debido a ambientes agresivos (por ejemplo, con carbonatación o ingreso de cloruros)
3. Estructural: Facilitar la transferencia de fuerza desde las armaduras que salte el recubrimiento.

3 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE LA ARMADURA DE ACERO

Se debe determinar si hay alguna zona con bajo recubrimiento de hormigón en que se pueda ver reducida la capacidad de protección contra fuego del acero de las armaduras.

Si este es el caso, las posibles soluciones son aumentar el recubrimiento de hormigón hasta el espesor especificado mediante la adición de mortero u hormigón, o aplicar un recubrimiento intumescente para proporcionar suficiente protección contra el fuego.



3.1 AUMENTO DE RECUBRIMIENTO CON MORTERO U HORMIGÓN ADICIONAL

Añadiendo una capa adicional de mortero u hormigón en la superficie se incrementará la cantidad de recubrimiento de las barras de acero. Esto se corresponde con el Método 7.1 (aumento de recubrimiento con mortero adicional) del Principio 7 (preservar o restaurar la pasividad) de la Norma EN 1504-9.

El mortero deberá cumplir con los requisitos de la norma EN 1504-3 Clase R3 o R4 (de acuerdo con la resistencia a la compresión de hormigón especificado). El mortero también debe tener el mismo o mayor nivel de resistencia a la carbonatación que el hormigón como se especifica en las pruebas de conformidad con la Norma Europea EN 13295. El espesor del mortero debe corresponder a la cantidad de recubrimiento adicional de hormigón requerida por la especificación.

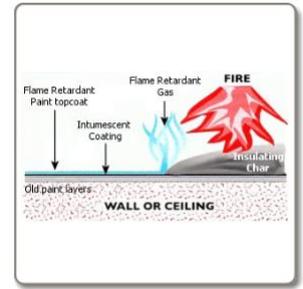
El mortero deberá tener Clase A1 (Euroclase) en cuanto a Estabilidad al Fuego.

Una solución Sika típica para este tipo de aplicación es Sika MonoTop®-412 S (clase R4, resistente a carbonatación positiva y resistencia al fuego clase A1).

Es esencial un curado adecuado del hormigón o mortero de reparación adicional. La evaporación excesiva conduce a la retracción y el fisuración que da lugar a una protección ineficaz

3.2 REVESTIMIENTOS INTUMESCENTES

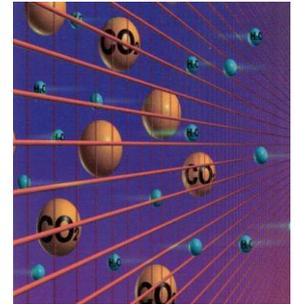
Un material intumescente es una sustancia que se hincha bajo la influencia de calor. Se incrementa en volumen y disminuye en densidad. Los recubrimientos intumescentes se utilizan normalmente en la protección pasiva contra incendios. Sika® ofrece toda la gama de recubrimientos intumescentes (Sika® Unitherm® y SikaCrete®) para la protección del acero y del hormigón.



4 PROCESO CONTRA LA CORROSIÓN DE LA ARMADURA

El tipo de exposición en una estructura tiene un papel de gran influencia en su durabilidad. Las estructuras de hormigón con bajo recubrimiento muy probablemente experimentarán un ciclo de vida mucho más corto en condiciones altamente corrosivas, como en las zonas marinas, industriales, etc.

Las dos causas más habituales que inducen la corrosión de las armaduras son la carbonatación y los ataques de cloruros. Cuanto más rápido penetran éstos en el hormigón, más pronto la capa pasiva alrededor de las armaduras de acero se destruye y se inicia el proceso de corrosión.



4.1 PROTECCIÓN CONTRA LA CARBONATACIÓN

4.1.1 CARBONATACIÓN - NIVEL DE PROTECCIÓN SENCILLO

Se puede restaurar el nivel especificado de protección contra la carbonatación futura con la aplicación de una capa protectora con un coeficiente de resistencia a la difusión del CO₂ que se cumpla al mínimo definido en la norma EN 1504-2 (SD > 50 m). Los revestimientos acrílicos son una solución adecuada, pues permiten conseguir esa resistencia a la carbonatación a la vez que son permeables al vapor de agua, dejando transpirar el soporte, e impidiendo de esta manera la posible formación de condensaciones dentro del mismo. Algunas soluciones Sika® son las siguientes:

Sikaguard 550 Elastocolor ES: con este producto se logran revestimientos elásticos con capacidad de puenteo de fisuras.

Sikaguard 670 W Elastocolor: con este producto se logran revestimientos de una gran durabilidad y resistencia a la carbonatación

Los sistemas de protección indicados anteriormente requieren una superficie de hormigón uniforme y libre de defectos como pequeños agujeros, nidos de grava u otras irregularidades. Una superficie de hormigón perfectamente regular y sin defectos ayudará a asegurar un espesor de película de revestimiento homogéneo y uniforme (especialmente importante si el revestimiento está diseñado para funcionar con las propiedades de puenteo de fisuras) y a prevenir la formación de ampollas, debido a la penetración de agua a través de los puntos más débiles.

Una nivelación de mortero a base de cemento, como Sika® MonoTop 620 o una capa de recubrimiento intermedio acrílico elástico Sikagard® -545 W proporcionarán la superficie regularizada de gran calidad antes de la aplicación de la capa protectora final.

4.1.2 CARBONATACIÓN - DOBLE NIVEL DE PROTECCIÓN

El doble nivel de protección aumentará la durabilidad y vida útil de la estructura. Un inhibidor de la corrosión de aplicación superficial puede actuar como un segundo nivel de protección, adicional al revestimiento descrito en el apartado anterior, para aumentar la resistencia a la corrosión. El inhibidor de la corrosión se aplica antes que el revestimiento protector y actúa mediante la migración hacia el interior del hormigón para formar una capa protectora adicional sobre la superficie de la armadura de acero.

Los inhibidores de corrosión de aplicación superficial proporcionan sobre todo un buen desempeño en la prevención y la reducción de la corrosión del acero inducida por la carbonatación. Además, si el recubrimiento de hormigón es inferior al especificado originalmente, es razonable esperar una mayor facilidad de penetración hacia el interior del inhibidor y el aumento de la cantidad del mismo que sea capaz de llegar a la superficie del acero.

Cuando los revestimientos de protección finalmente se deterioran, ya no puede proteger adecuadamente al hormigón. Normalmente, esto puede ocurrir una vez pasados 10-15 años o más después de la aplicación, dependiendo de la exposición a la que esté sometida la estructura. Cuando la capa protectora se destruye total o parcialmente la carbonatación puede continuar propagándose hacia el interior del hormigón hasta llegar a la armadura de acero. En esas condiciones, y en presencia de humedad, la corrosión de acero puede comenzar a desarrollarse. Eso se puede prevenir con la aplicación de un inhibidor de la corrosión como un segundo nivel de protección, que forma una película pasivante de la corrosión alrededor de las armaduras de acero que sirven para proteger al mismo.

Mediante la aplicación de inhibidores de corrosión se incrementaría el tiempo entre trabajos de mantenimiento (por ejemplo, aplicación de 1 o 2 capas adicionales de revestimiento de protección), sin que exista riesgo de deterioro de la estructura si el revestimiento se daña.

Exposiciones típicas que contribuyen al deterioro de los revestimientos protectores son la reducción del espesor de la película por los rayos ultravioletas, erosión mecánica del viento y la lluvia, abrasión por partículas de arena y polvo, etc

4.1.3 CARBONATACIÓN – MÉTODO ALTERNATIVO

Para que un revestimiento de protección sea eficaz y duradero tiene que ser aplicado en una superficie libre de defectos como se especifica en el apartado 2.1.1. Por lo tanto, en muchos casos se aplica directamente sobre el hormigón una capa tapaporos, muy fina, con la que se rellenan las irregularidades y pequeños defectos que pueda tener el hormigón, proporcionando una superficie para aplicar el posterior revestimiento de textura muy fina y lisa.

En algunas situaciones puede no ser práctico conseguir una superficie libre de defectos de la manera indicada anteriormente. Por ejemplo, en grandes obras de ingeniería civil, como las torres de refrigeración o los puentes, los requisitos de curado, pasos de la aplicación, el tiempo y el costo puede prevenir esto.

Una estrategia alternativa sería aplicar en primer lugar una impregnación hidrófoba compatible, en lugar de la capa tapaporos sobre la superficie defectuosa. De esa manera se reducen todos los riesgos asociados a la aplicación de un revestimiento de protección sobre una superficie inadecuadamente tratada. Esta estrategia alternativa no sólo es mucho más rápida y fácil de aplicar, sino que con este método también se puede conseguir un sistema de protección duradero a largo plazo.

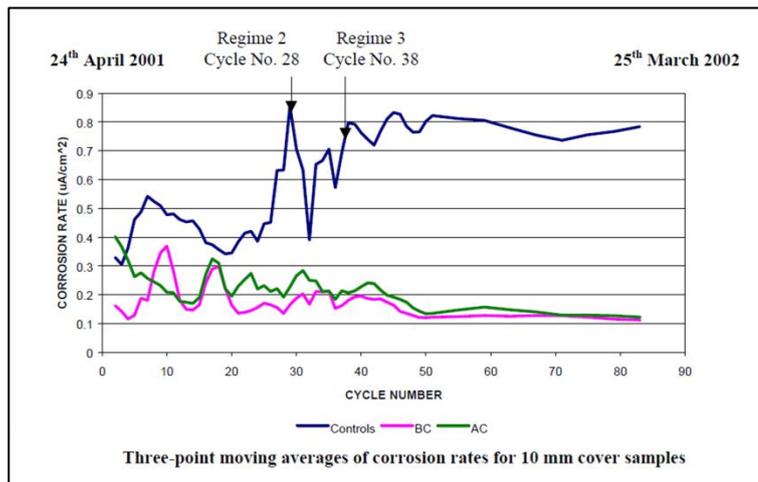


Figura 1: Hormigón carbonatado – efecto inhibidor (aplicado antes y después de la carbonatación)



La impregnación hidrófoba compensará donde hay defectos de la superficie, repeliendo el agua como un segundo nivel de protección en el que el revestimiento de protección no ha llenado o puentado de los poros, fisuras u otras imperfecciones. El agua que contiene los elementos solubles agresivos (por ejemplo, cloruros, sulfatos, etc) no podrá penetrar en el hormigón.

Los problemas adicionales tales como formación de ampollas en el revestimiento y el desmenuamiento del hormigón por los efectos de la acción de hielo-deshielo también se impiden, al repeler la entrada de agua.

Este sistema combinado se incluye en varios sistemas de protección de hormigón en Alemania y se hace referencia a ellos como OS2 según DIN V-18026.

4.2 CORROSIÓN INDUCIDA POR CLORUROS

El recubrimiento de hormigón es la primera barrera contra la penetración de cloruros solubles en agua que pueden llegar a la armadura de acero. En ambientes marinos u otras estructuras sujetas a exposición a sales de deshielo este recubrimiento es esencial para la durabilidad del hormigón. Cuanto mayor es el recubrimiento de hormigón más tiempo se necesita para que los elementos agresivos puedan llegar a la armadura, y por lo tanto que la corrosión pueda desarrollarse.

4.2.1 CLORUROS – UN SOLO NIVEL DE PROTECCIÓN

La durabilidad de un hormigón con insuficiente recubrimiento se puede restablecer utilizando un inhibidor de la corrosión, aplicado como impregnación superficial, siempre y cuando, en el momento de la aplicación, la concentración de cloruros en ese recubrimiento sea suficientemente baja.

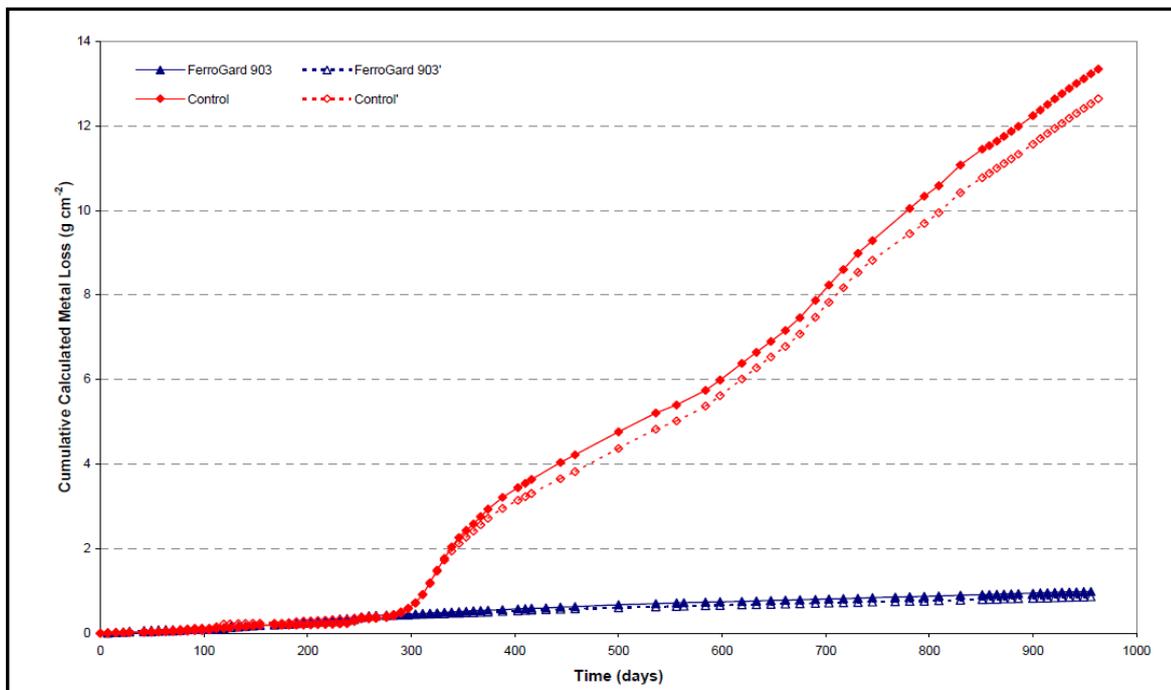


Figura 2: Cantidad acumulada de acero perdido por la corrosión

En estructuras nuevas la durabilidad se puede incrementar si se aplica el inhibidor de corrosión antes de que los cloruros solubles hayan tenido tiempo de penetrar en el hormigón. Esta acción preventiva de los inhibidores de corrosión en forma de impregnación de aplicación superficial quedó claramente demostrado por el Dr. JR Morlidge de BRE en el Reino Unido.

El proyecto SAMARIS recomienda llevar a cabo una evaluación preliminar para determinar si un inhibidor de la corrosión se puede aplicar en un proyecto concreto.

A modo de ejemplo se pueden considerar en primer lugar algunas cuestiones previas:

Ubicación: ¿Está la zona a tratar por encima del nivel del agua o dentro de la zona de carrera de marea?

Penetración: ¿El producto tiene la suficiente capacidad de penetración en el hormigón?

Dependiendo del resultado de la evaluación, se puede considerar como solución una técnica de mitigación de la corrosión (por ejemplo galvánica ánodos) o utilizar el inhibidor de la corrosión sólo o en combinación con otros tratamientos (revestimientos anticarbonatación, impregnaciones hidrófobas).

4.2.2 CLORUROS – DOBLE NIVEL DE PROTECCIÓN

Aplicando una impregnación hidrófoba en combinación con un inhibidor de la corrosión se proporcionan dos niveles de protección.

La impregnación hidrofóbica impide la penetración de agua líquida, mientras que permite que el vapor de agua se evapore. Esta característica de los tratamientos hidrofugos, que logra que los poros del hormigón estén prácticamente secos, mejora aún más la protección del acero de la armadura embebida en el hormigón.

Para estructuras expuestas a sales de deshielo (por ejemplo, tableros de puente) se recomienda un tratamiento con una impregnación hidrofugante con gran capacidad de penetración (clase II, según la norma UNE-EN-1504-2), aplicada con una dotación suficiente para alcanzar una profundidad de penetración de al menos 4 mm. Para las estructuras marinas (salpicaduras y zonas de marea) se recomienda que la impregnación hidrófoba logre una profundidad de penetración de al menos 5 mm. Estas profundidades de penetración proporcionarán una barrera efectiva contra la entrada y migración de cloruro como se demuestra por Zhao y Wittmann, y Wittmann y Gerdes.

La influencia directa de la protección dada por las impregnaciones hidrófobas se ha demostrado sometiendo vigas fisuradas a ciclos regulares de encharcamiento y sequedad en agua salada y midiendo la actividad de la corrosión de acero resultante. En las vigas tratadas con impregnaciones hidrófobas con suficiente de profundidad de penetración, incluso cuando se aplica antes de que se hayan producido las fisuras, se redujo de manera significativa la iniciación de la corrosión por la desecación de los poros del hormigón que rodean las armaduras de acero y por la limitación de la penetración de los cloruros.

Un programa informático desarrollado por el NIST (National Institute of Standard and Technology) en los Estados Unidos puede predecir la vida de diseño de una estructura, basándose en los coeficientes de difusión de cloruros en hormigón tanto tratado como no tratado, para diferentes espesores de recubrimiento de hormigón (<http://ciks.cbt.nist.gov/bentz/menu0002.html>). Alternativamente, variando el espesor de recubrimiento se puede predecir el recubrimiento de hormigón equivalente restaurado mediante la aplicación de un sistema de protección.

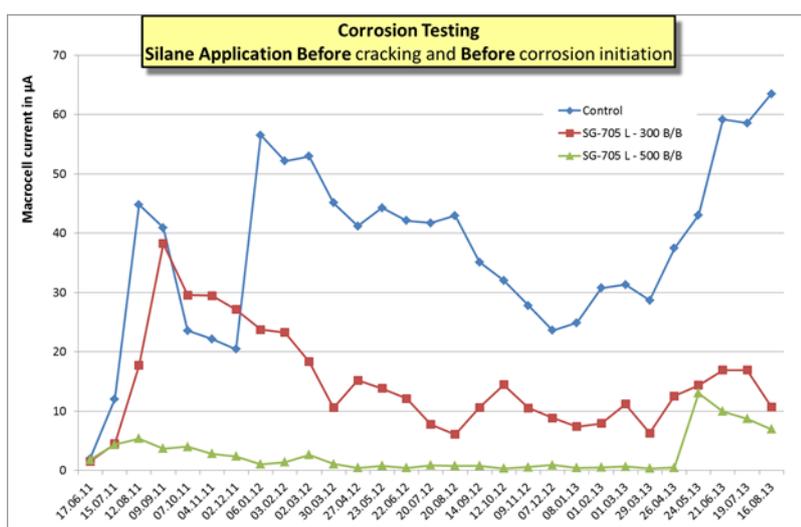
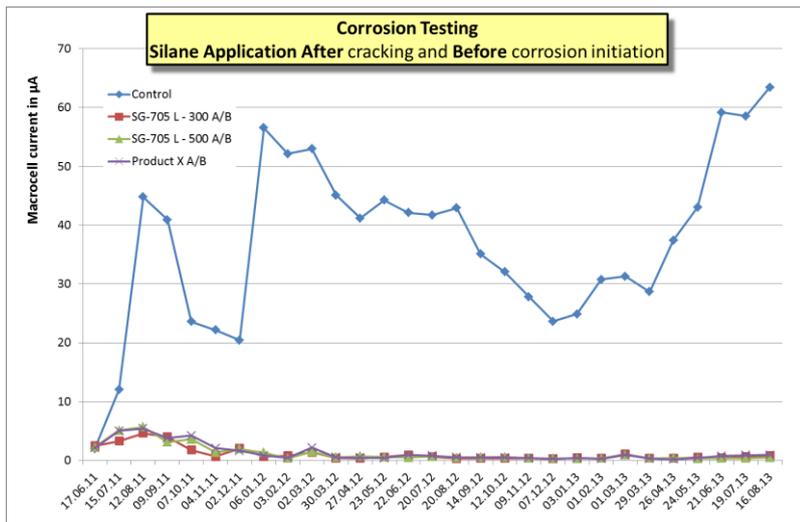


Figura 3: Actividad de la corrosión



5 CONCLUSIONES

El problema surgido por la falta de recubrimiento en las obras de hormigón es bastante habitual, tanto en obra nuevas como existentes. Las posibles soluciones al mismo, que se han tratado a lo largo de este artículo son:

- Adición de una capa de hormigón o preferiblemente mortero (gama Sika® Monotop), de un espesor igual o mayor al defecto de recubrimiento detectado.
- Aplicación de un revestimiento anticarbonatación, a base de pinturas acrílicas (Sikaguard® 550 ES Elastocolor, Sikaguard® 670 W Elastocolor), que impida el acceso de CO₂ al hormigón.
- Aplicación de inhibidores de corrosión (Sika® FerroGard®-903, como impregnaciones superficiales con capacidad de penetración en el hormigón.
- Aplicación de impregnaciones hidrófugas (Sikaguard®-703, Sikaguard®-711), que impidan la penetración de agua en el hormigón, como principal agente catalizador de la corrosión.

Todos estos sistemas se pueden combinar entre ellos, si se desea, para conseguir un mayor efecto protector, e incrementar la durabilidad de las estructuras tratadas.

6 REFERENCIAS

- [1] *Dr. Eng. Robert Engelfried*, ICRI, International Concrete Repair Institute. Annual Meeting New Orleans USA, October 31 to November 01 1996
- [2] *LPM AG Inspection Report*, A-14'231-1E, dated August 1993, Switzerland
- [3] *LPM AG, Test report* A-33'884'-2E dated July 2009, Switzerland
- [4] *Rukshani Heiyantuduwa*, Performance of a Penetrating Corrosion Inhibitor in Controlling Carbonation-induced Corrosion in Reinforced Concrete, Department of Civil Engineering, University of Cape Town, South Africa
- [5] *G. Taché*, CEBTP, Rapport n° 2393.6.100, études sur le Ferrogard-903, August 2000, France
- [6] *Dr. J.R. Morlidge*, BRE, The use of surface applied FerroGard-903 corrosion inhibitor to delay the onset of chloride induced corrosion in hardened concrete. Report Nbr. 224-346A dated August 2005, United Kingdom

- [7] *T.j Zhao*, Water repellent surface treatment in order to establish an effective chloride barrier, Hydrophobe IV, Aedificato Publisher, 2005
- [8] *M. Wittmann*, Application of water repellent treatment for the protection of “off-shore” constructions, Hydrophobe III, Aedificatio Publisher, 2001
- [9] NIST, National Institute of Standard and Technology, US Department of Commerce, Computer integrated knowledge system for high performance concrete, February 2012

7 NOTA LEGAL

Las informaciones contenidas en este documento y en cualquier otro asesoramiento dado, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales y de acuerdo a las recomendaciones de Sika. La información se aplica únicamente a la (s) aplicación (es) y al (los) producto (s) a los que se hace expresamente referencia. En caso de cambios en los parámetros de la aplicación, como por ejemplo cambios en los soportes, etc., o en caso de una aplicación diferente, consulte el Servicio Técnico de Sika previamente a la utilización de los productos Sika. La información aquí contenida no exonera al usuario de ensayar los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben conocer y utilizar la versión última y actualizada de la Hoja de Datos de Producto concernido, copias de la cual se mandarán a quien las solicite.

8 PALABRAS CLAVE

Bajo recubrimiento, durabilidad, hormigón reforzado, protección contra el fuego, Sikagard, Sika Unitherm, Sika MonoTop, recubrimiento protector, corrosión, inhibidor, impregnación hidrófuga.

**Adaptación de Ramón Martínez
de un artículo original
de Michel Donadio**

Artículo Técnico
Protección de hormigón armado
con bajo recubrimiento de armaduras
Febrero-2014

Sika España
Difusión externa