



Hidrofugado profundo

Protección de superficies
preventiva para estructuras
de hormigón armado

Por favor, tenga en cuenta que los detalles, ilustraciones, información técnica general y dibujos, incluidos en el folleto, simplemente consisten en propuestas y detalles generales los cuales describen esquemáticamente las funciones básicas. No se indica ninguna precisión dimensional. El profesional/cliente es responsable de verificar en cada proyecto que el producto es aplicable. Los trabajos a realizar por otros gremios se representan solo esquemáticamente. Todos los datos y especificaciones deberán adaptarse y ajustarse a las condiciones locales y no representan planos de ejecución ni de detalle. Es imprescindible observar las especificaciones y datos técnicos concretos de los productos incluidos en las fichas técnicas, así como las descripciones de los sistemas y las homologaciones.

Índice



- 4 **El hormigón armado requiere protección**
Reflexionando sobre el antiguo conocimiento
- 6 **El Hormigón armado y los cloruros**
Una relación problemática
- 8 **Ecología y economía**
Un ejemplo de cálculo
- 10 **Hidrofugado profundo en detalle**
La química en ayuda de la protección
- 12 **Planificación y procedimientos**
Tan sencillo como eficiente
- 14 **Un paso por adelante**
En Suecia, hoy ya piensan en el mañana

El hormigón armado requiere protección

Reflexionando sobre el antiguo conocimiento



El hormigón armado puede ser de todo, menos duradero. Así lo demuestran claramente las últimas cifras en daños y el creciente número de reparaciones.

Mediante la aplicación de medidas preventivas, ecológicas y económicamente aceptables, pueden protegerse a largo plazo las obras con un esfuerzo técnico razonable. Una de ellas es el hidrofugado profundo de las estructuras de hormigón armado. Esta técnica de tratamiento superficial ya se ha venido empleando en obras diferentes para impedir la absorción capilar de soluciones salinas acuosas que atacan el hormigón. Las experiencias exitosas practicadas de los últimos 12 a 15 años lo demuestran claramente.

El hidrofugado no es un desarrollo de la era moderna; los romanos ya lo empleaban hace 2000 años. También los mayas conocían que añadiendo grasas y aceites naturales las fachadas de piedra eran más resistentes.

Basándose en los modernos resultados de las investigaciones, el hidrofugado ha ido evolucionando continuamente hasta el hidrofugado profundo. Actualmente, el hidrofugado profundo de elementos de construcción aglomerados con cemento representa uno de los métodos de protección más eficientes contra la penetración de contaminantes disueltos en el agua en el borde externo del hormigón.

Los mismos constructores romanos sabían cómo proteger sus obras. Sin duda, con gran éxito...

Reconsideración de los viejos conocimientos gracias a la química moderna: protección de los componentes de hormigón armado mediante la protección de la superficie.



El hormigón armado y los cloruros

Una relación problemática



Especialmente sobre las obras de hormigón armado de nuestras infraestructuras como, por ejemplo, los puentes de autopistas y ferrocarriles influyen los elementos medioambientales que más tarde o más temprano reducen su vida útil.

El hormigón es un material poroso fabricado a partir de cemento, agregado mineral (p. ej. arena o grava), agua y, en caso necesario, aditivos. El cemento reacciona con el agua formando la piedra de cemento, que envuelve con su masa el material agregado para crear el hormigón. Los materiales aglomerados con cemento poseen un sistema de poros ramificado que absorbe capilarmente los líquidos rápidamente y en grandes cantidades. Aquí, se distingue claramente el denominado borde externo del hormigón (hasta 3 cm de la superficie hacia dentro) del hormigón del núcleo. Además de una elevada porosidad, esta área externa posee también una elevada permeabilidad a los gases y al agua.

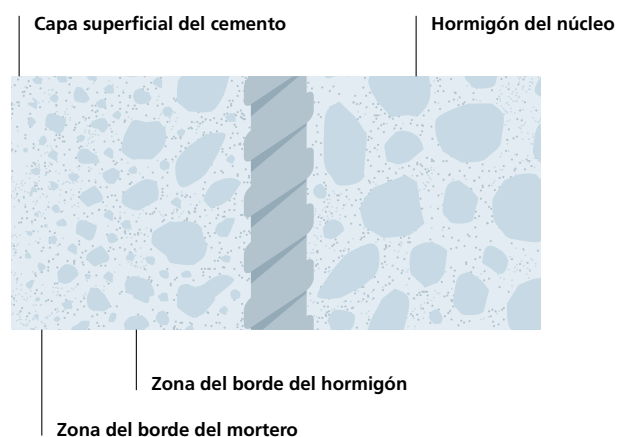
Muchos mecanismos dañinos como, por ejemplo, la corrosión de la armadura inducida por el cloro, están relacionados con el transporte del agua en la zona del borde del hormigón.

Así, en función de las condiciones ambientales y de utilización, el cloro – como, por ejemplo, el de las soluciones salinas o incluso el agua marina – es transportado desde el exterior hacia la zona periférica del hormigón a través de los poros capilares. Al superarse un contenido crítico de cloruro en el hormigón armado y en presencia del correspondiente elemento de reacción (suficiente existencia de oxígeno y la correspondiente relación de la humedad), se produce la corrosión de la armadura.

Como consecuencia, se causa el desconchado del hormigón superficial y se deja a la vista el acero de refuerzo.

Si el frente de cloruros alcanza el acero de refuerzo, se formará óxido, provocando un aumento del volumen que hará saltar el

hormigón que se encuentre encima; los componentes de hormigón armado amenazan con perder su resistencia.





Un componente especialmente afectado es, por ejemplo, los pilares centrales de los puentes que se montan sobre las autovías. Estos pilares están sometidos y sin protección a la sal empleada para fundir el hielo, que en los meses de invierno genera una elevada carga de cloruro. Esta elevada cantidad de cloruros provoca, en poco tiempo, fuertes daños de corrosión en el hormigón armado. Esto hace necesario realizar reparaciones técnica, económica y ecológicamente costosas.

Tecnológicamente

Para realizar el mantenimiento, se debe eliminar el hormigón afectado hasta el refuerzo. Se debe limpiar el acero y proveerlo de una protección anticorrosión. A continuación, se reemplaza el hormigón retirado. Al aplicar un hormigón nuevo sobre otro antiguo, surge una nueva superficie límite. Si no se adaptan entre sí óptimamente ambos materiales, en unos pocos años pueden volver a surgir daños; lo cual lo confirma la experiencia.

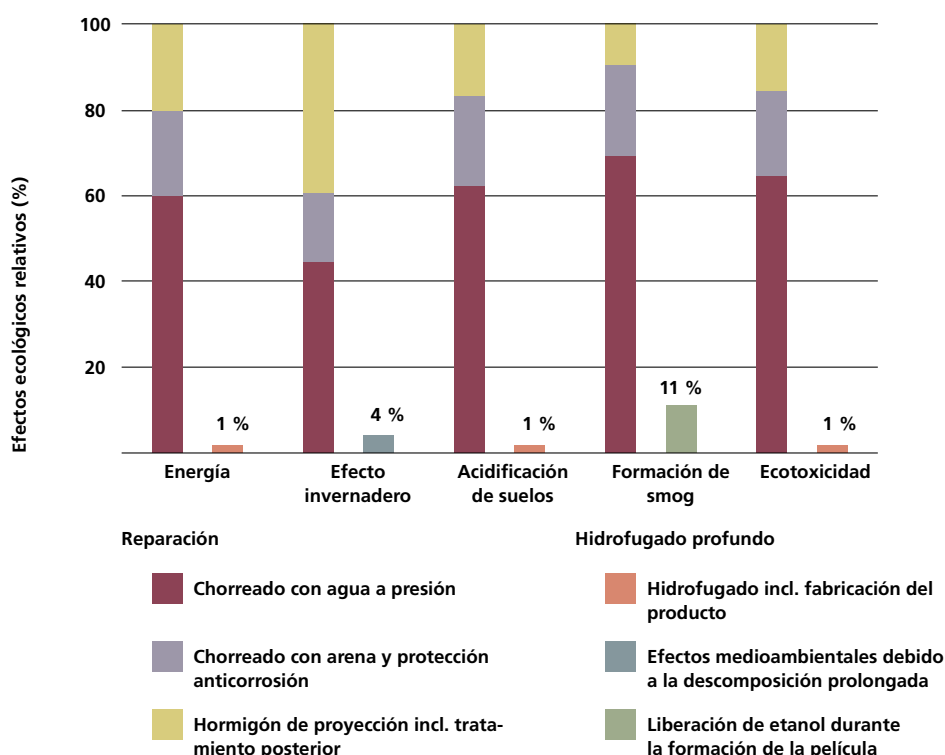
Económicamente

Las investigaciones han puesto en evidencia que la reparación de dichos pilares de puentes cuesta varias veces más que la fabricación original del pilar. Así, el gasto del saneamiento de los pilares es de aprox. 30.000 €. Mientras que el gasto general de la obra puede ascender de aprox. 100.000 € a unos 120.000 €. Aquí, no se tienen en cuenta los costes debidos a las retenciones (p. ej. gastos de combustible y de tiempo, ni las consecuencias negativas para la población).

Ecológicamente

Además de requerir un elevado coste financiero, las reparaciones, por lo general, suelen ser medidas constructivas que consumen energía y recursos de forma intensiva. Por ello, suelen tener, en parte, implicaciones ecológicas notables. Así, se podría demostrar, que los efectos medioambientales de una reparación pueden llegar a ser hasta el triple de los causados por la fabricación del componente (p. ej pilar).

Reparación frente al hidrofugado en el ejemplo de la obra de un puente tras 25 años.



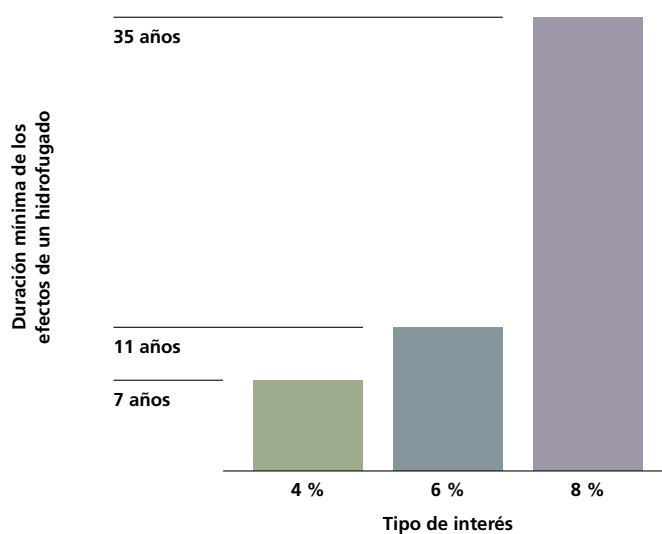
Una forma efectiva de evitar de antemano semejantes daños, es la de realizar la protección de superficies preventiva mediante un hidrofugado profundo.

Un ejemplo

Un puente previsto para no requerir mantenimiento en 100 años, debe repararse tras 25 años. La carga medioambiental relacionada con ello, se recoge en un balance ecológico (véase el gráfico de la página 8). Para poder comparar, se han incluido en la gráfica las cargas medioambientales de un hidrofugado profundo. Con estas cifras se pone de manifiesto que debería realizarse el hidrofugado profundo hasta nueve veces para que los efectos ecológicos de ambas medidas (formación de smog) fueran comparables. De aquí se puede deducir que, con una reparación tras 25 años, los efectos mínimos, en lo que respecta a la ecología, de un hidrofugado profundo solamente deben ser de aprox. 3 años. De hecho, con el estado actual de la tecnología, un hidrofugado profundo es efectivo durante aprox. 15 a 20 años.

Esto también tiene efectos económicos. Si la obra se hubiera sometido al hidrofugado profundo con efectividad desde el momento de la finalización de las obras a intervalos regulares, se podrían haber evitado los daños. Si se confrontan los gastos de reparación frente a los de inversión para un hidrofugado profundo preventivo y efectivo, se puede estimar la duración de la efectividad del hidrofugado a efectos económicos.

Para ello, se deben pagar los intereses del capital empleado tanto para la reparación como para el hidrofugado profundo. Al comparar los correspondientes importes de los capitales, empleando diferentes tipos de interés, puede determinarse la duración mínima efectiva de un hidrofugado profundo. Con tipos de interés entre 4 y el 6 %, realizar un hidrofugado profundo entre 7 y 11 años es más que rentable si de esa forma se puede evitar la reparación tras 25 años.



Hidrofugado profundo en detalle

La química en ayuda de la protección



Por hidrofugado profundo se entiende la impregnación de un material de construcción mineral con un producto que repele el agua. Para poder evaluar principalmente la carga básica de las obras de hormigón armado y sus medidas de protección, se desarrolló un concepto de tres fases, que se basa en la "profundidad de penetración efectiva". Este valor representa el grosor de la zona del borde del hormigón, en el que penetra el contenido de sustancias activas para impedir completamente la absorción de agua capilar.

Con ayuda del concepto de las tres fases, se evalúa de forma práctica la situación de carga y, con ello, se determinan las exigencias de hidrofugado. La selección de los productos adecuados se efectúa empleando esta clasificación:

Nivel 1 Imprimación

Empleando sistemas de protección superficial (OS 2), se prevé la imprimación del soporte con un hidrofugante. Los productos previstos para ello, alcanzan una profundidad de penetración de aprox. entre 1 y 1,5 mm. Pueden emplearse los denominados concentrados de microemulsión de silicona (StoCryl GW 100) o los sistemas diluidos con disolventes con un contenido de sustancias activas <20 % (StoCryl HP 100).

Nivel 2 Área de pulverización

En este caso se trata, sobre todo, de elementos de construcción, sometidos a una carga elevada de cloruros como, por ejemplo, los apoyos de los puentes. La profundidad de penetración debe ser mayor de 4,0 mm. Con este nivel pueden emplearse productos como, por ejemplo, emulsiones acuosas de alta viscosidad, como StoCryl HC 100, o aplicarse varias capas de silanos de baja viscosidad con una concentración de sustancias activas de aprox. 100 %, como StoCryl HP 200.

Nivel 3 Área de salpicaduras de agua

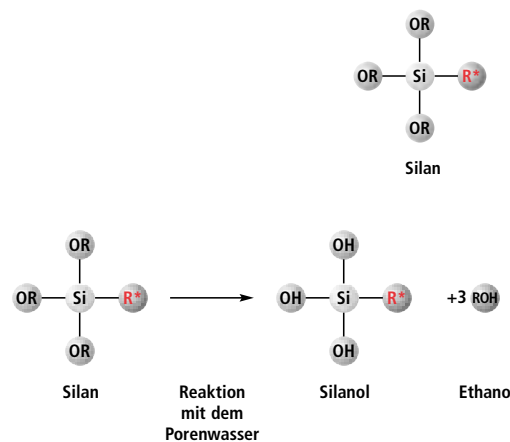
En el caso de los elementos de construcción sometidos a una fuerte carga de cloruros como, por ejemplo, en las zonas de separación del tipo de agua en las obras cerca de la costa o en los pilares centrales de los puentes sobre autopistas, la profundidad de penetración efectiva debe ser superior a 6,0 mm. En este caso se habla de un "hidrofugado profundo", con el que se emplearía un sistema no acuoso de alta viscosidad como StoCryl HG 200.

Hidrofugante moderno basado en silanos.

Los silanos, al igual que los siloxanos, siliconas y resinas de silicona, pertenecen al grupo químico de los compuestos de organosilicio. Tras su aplicación, estos son transportados hasta la zona del borde del hormigón gracias a la absorción capilar.

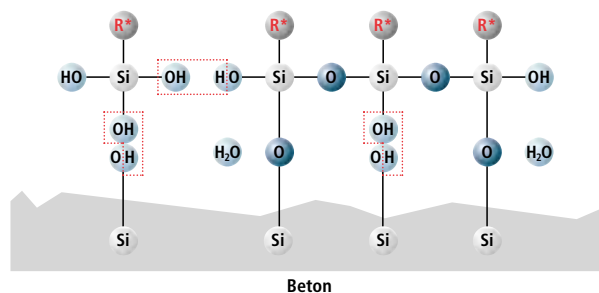
Durante dicho transporte, el silano reacciona químicamente con el agua absorbida en las paredes internas de los poros. De esta forma, se produce una delgada película hidrófuga de resina de silicona en la pared interna de los poros. Así, se sigue permitiendo el transporte del vapor de agua entre el entorno y el interior del material. Pero ya no puede tener lugar el transporte de las sustancias que agreden al hormigón disueltas en el agua.

La efectividad y durabilidad de estas medidas también dependen, entre otros aspectos, de las propiedades químicas de los silanos.

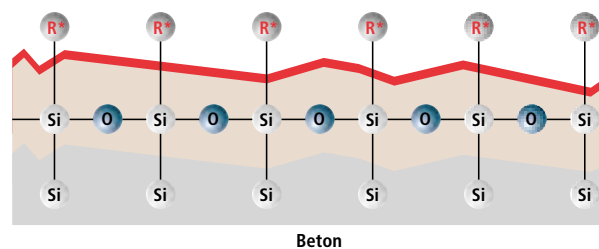


Estructura química de los silanos, pertenecientes a los numerosos compuestos de organosilicio, tal cual se emplean en el hidrofugado de estructuras de hormigón.

Debido a la absorción capilar en la zona del borde del hormigón, el silano reacciona químicamente con el agua absorbida en las paredes internas de los poros. Con ello, tras la disociación del etanol, surge el silanol con capacidad reactiva.



Estas moléculas de silanol forman enlaces con el hormigón tras la disociación del agua. Por la pared interna del poro se forma una película de resina de silicona con efecto hidrófugo.



Las soluciones acuosas sobre las superficies de hormigón (p. ej. agua cargada de cloruros) dejan de poderse absorber capilarmente. Debido al pequeño grosor de la película, los capilares no quedan atascados completamente, sino que permiten el transporte del vapor de agua.

Planificación y procedimientos

Tan sencillo como eficiente

Sin problemas: la rápida aplicación del hidrofugante.



Las muestras cilíndricas muestran en el laboratorio la profundidad del carbonatado del elemento de construcción.



La elevada viscosidad permite que las sustancias activas penetren lentamente en el hormigón.



Durante la aplicación, se debe verificar constantemente si se alcanza el espesor de capa previsto.



Para diseñar con éxito esta medida de protección preventiva del "Hidrofugado profundo", se requieren efectuar diversos pasos antes, durante y después de aplicarla.

Planificación

Para ello, deben tomarse varias muestras cilíndricas con un diámetro medio de 70 mm del elemento de construcción a proteger. Estas muestras cilíndricas son sometidas, posteriormente, en el laboratorio a ensayos de profundidad de carbonatación, porosidad, contenido en cloruros en la zona de penetración efectiva.

Al determinar la profundidad de la carbonatación, previamente se debe determinar el avance de la misma para poder evaluar el riesgo de corrosión en lo que respecta al "resto de la vida útil".

También la porosidad de la obra determina, en cierta manera, la durabilidad del hormigón armado. También en este caso reviste importancia la posibilidad de aplicar una medida de protección superficial como es el hidrofugado profundo. La porosidad capilar de la obra se determina pesando las muestras cilíndricas por inmersión. Los resultados de la absorción de agua sirven para determinar la profundidad de penetración efectiva del hidrofugante como muestra de referencia.

La efectividad y la durabilidad de la medida depende en gran parte de esta profundidad de penetración efectiva. Describe el espesor de la zona del borde del hormigón, en la que se impide completamente la absorción de agua.

La distribución de los iones de cloruro en el material o la profundidad de penetración del cloruro, también juegan un papel importante en la durabilidad del hormigón. Si el frente de cloruro ya ha alcanzado el acero de refuerzo, ninguna medida posterior de protección superficial será efectiva.

Ejecución

Si se cumplen todos los requisitos para aplicar un hidrofugado profundo, deberá determinarse la "profundidad de penetración efectiva" y el "contenido mínimo de sustancias activas". Ahora, los resultados se pueden adjuntar al informe como anexos, para ser, posteriormente, la base de los controles de calidad.

Para garantizar que la medida de protección sea duradera, en obra deberá realizarse una comprobación de las especificaciones. En un diario de la obra deberá documentarse, entre otras cosas, las condiciones meteorológicas durante la aplicación así como el rendimiento diario.

Una de las ventajas de la supervisión en obra es la aplicación de los hidrofugantes de alta viscosidad, los denominados Cremas (StoCryl HC 100) y Geles (StoCryl HG 200). Estos productos permanecen sobre la superficie un tiempo prolongado tras la aplicación. Aquí, se puede controlar la cantidad que se aplica mediante un medidor de espesor de capa húmeda, comparar con las especificaciones y documentar en el diario de la obra.

Controles de calidad

Los controles de calidad tras la aplicación del hidrofugado profundo se realizan análogamente en tres pasos:

1. Comprobación de la ejecución de las medidas de hidrofugado.
2. Extracción de las muestras cilíndricas de la superficie hidrofugada.
3. Comprobación de la profundidad de penetración efectiva y del contenido mínimo de sustancias activas del hidrofugante con ayuda de la espectroscopia FTIR.

Un paso por delante

En Suecia, hoy ya piensan en el mañana



El hidrofugado profundo, como medida preventiva, goza en Suecia de un muy buen renombre y se lleva aplicando con gran éxito desde la década de los 90.

Gracias a esta gran aceptación de la medida de protección, en Suecia se han ejecutado numerosas aplicaciones de hidrofugado profundo en el pasado.

Así, que para poder contestar a la pregunta de la durabilidad o de la vida útil de un hidrofugado profundo, se analizaron en Estocolmo 28 pilares de puentes que habían recibido el hidrofugado profundo con una profundidad de penetración >6 mm.

Previamente se adoptaron criterios de selección:

- Las estructuras deben estar fuertemente expuestas a cargas de cloruro.
- En las estructuras analizadas, en el momento de aplicar el hidrofugado, se debió determinar el contenido de cloruro y la carbonatación para poder presentar la comparativa, además de con los ensayos actuales, también con una evolución en el tiempo de la carga de contaminantes y poder determinar así la efectividad.
- Para poder obtener información sobre la durabilidad del efecto, se seleccionaron obras cuyo hidrofugado profundo se había efectuado entre 2 y 15 años antes.



Strömbro, puente en Estocolmo

De estas estructuras se extrajeron muestras cilíndricas que se investigaron detalladamente en los laboratorios. El resultado: en todos los puentes comprobados, el hidrofugado profundo había evitado la penetración de los cloruros e, incluso, en el momento del ensayo aún era plenamente efectivo.

Tan sencillo como eficiente:
protección superficial efectiva de obras de hormigón armado contra la penetra-

ción de cloruros mediante el hidrofugado profundo StoCryl HG 200



StoCretec GmbH

Gutenbergstrasse 6
65830 Kriftel
Germany

Head Office

Phone +49 6192 401-0
Fax +49 6192 401-325

Technical Info Center

Phone +49 6192 401-104
Fax +49 6192 401-105
stocretec@sto.com
www.stocretec.de

