



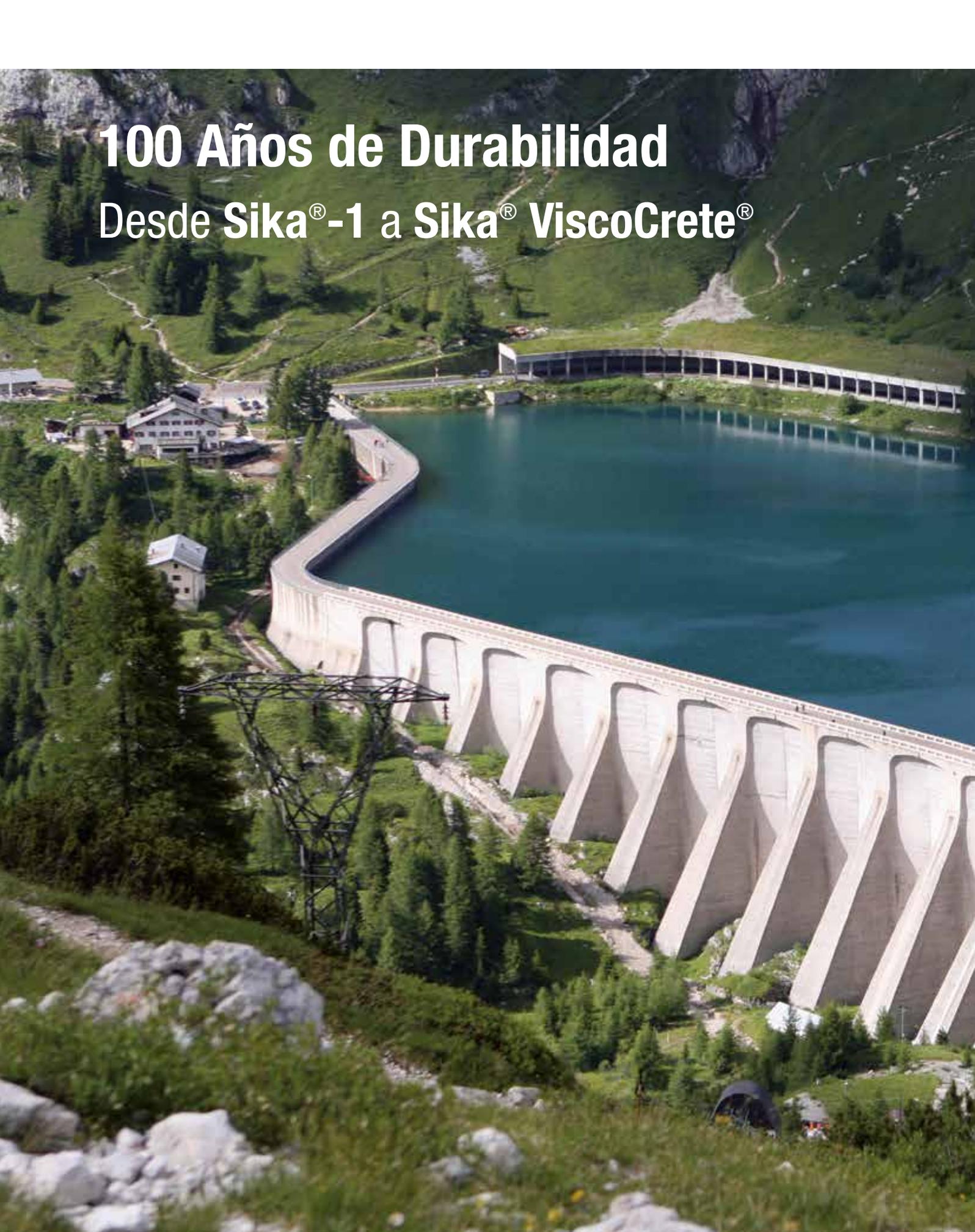
# 100 Años de Durabilidad

## Desde Sika®-1 a Sika® ViscoCrete®



# 100 Años de Durabilidad

Desde Sika®-1 a Sika® ViscoCrete®





Fundada por Kaspar Winkler en 1910, el nombre de Sika sigue asociándose a soluciones duraderas e impermeables. Los productos de Sika han contribuido al éxito desde que se empezó con aditivo impermeabilizante para mortero, utilizado por primera vez en la impermeabilización del Túnel Ferroviario de San Gotardo y siguiendo por todos los sistemas de impermeabilización diseñados para una amplia variedad de aplicaciones, entre las que actualmente se incluye el Túnel de Base de San Gotardo, el túnel más largo del mundo para trenes de alta velocidad. Bien sea para sellar y prevenir de forma duradera la entrada de agua o para proteger este preciado líquido y prevenir sus fugas: dos lados de un reto exhaustivo que presentan puntos muy complejos.

El diseño de un edificio estanco desde el sótano hasta la cubierta requiere el desarrollo de soluciones que abarquen una amplia gama de aplicaciones de instalación práctica y de protección permanente. En el caso de una estructura completa significaría el sellado de superficies como los tejados, muros subterráneos o placas de cimentación. Esto significa asegurar la estanqueidad de las juntas de construcción y expansión. Además, las soluciones de impermeabilización en las zonas visibles han de cumplir exigentes requisitos estéticos.

Además del agua, las estructuras de los edificios están expuestas a un gran abanico de fuerzas y de presiones, empezando por las fuerzas mecánicas resultantes del tipo de construcción y continuando por los diversos ataques externos. Las condiciones climáticas de calor o frío extremo, el agua agresiva u otros productos químicos, que están continuamente desgastando la superficie, y en casos extremos, el impacto del fuego, transmiten una enorme presión en las estructuras como conjunto y sobre todos los materiales del edificio.

El hormigón, el material constructivo de este siglo, desempeña un papel fundamental en todas estas aplicaciones y requisitos. En el mundo actual de la construcción, el uso del hormigón es omnipresente; no se concibe un edificio sin hormigón. Este material de construcción es duradero si se formula correctamente, se manufactura de forma industrial con materias primas que cumplen con todos los requisitos, se cura y se utiliza de manera profesional. Así es capaz de soportar todas las exigencias permanentemente.

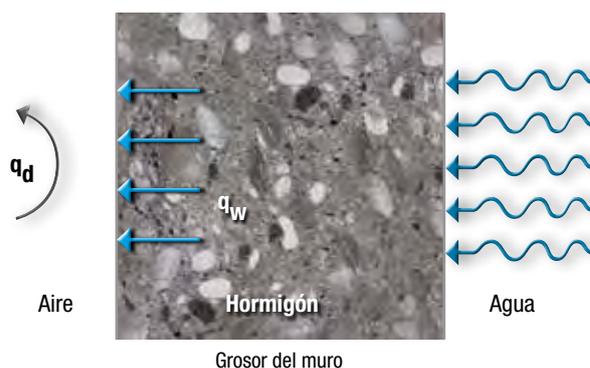
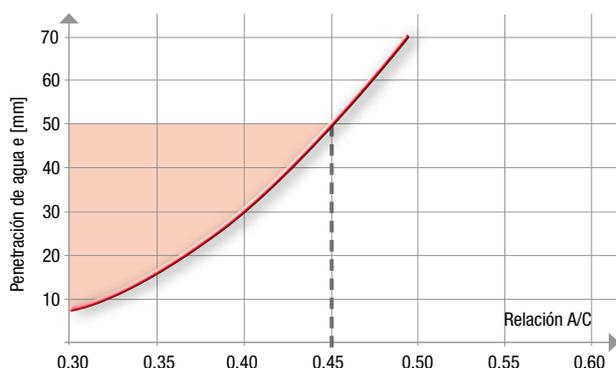
El hormigón ha moldeado el desarrollo sostenible de Sika y desde 1910 Sika ha contribuido notablemente en el desarrollo del hormigón como material de construcción duradero.

## Índice

<b>100 años de durabilidad</b>	<b>2</b>
<b>Hormigón impermeable</b>	<b>4</b>
<b>Hormigón con alta durabilidad, que reduce la corrosión en las armaduras</b>	<b>6</b>
<b>Hormigón resistente a ciclos de hielo / deshielo</b>	<b>8</b>
<b>Hormigón resistente a sulfatos</b>	<b>10</b>
<b>Hormigón resistente al fuego</b>	<b>12</b>
<b>Hormigón resistente a la reacción sílico-alcalina</b>	<b>14</b>
<b>Hormigón resistente a la abrasión</b>	<b>16</b>
<b>Hormigón resistente a los productos químicos</b>	<b>18</b>
<b>Hormigón de alta resistencia</b>	<b>20</b>
<b>Hormigón de retracción controlada</b>	<b>22</b>

# Estructuras de Hormigón Impermeable

El objetivo es el diseño y la construcción de una estructura de hormigón impermeable. La impermeabilización de una construcción se determina observando si se cumplen todos los requisitos decisivos en cuanto a las limitaciones de permeabilidad del agua a través del hormigón, las juntas, las partes de la instalación, así como de las fisuras. Gracias a la aplicación de un sistema muy bien definido y calculado ha sido posible lograr construcciones con impermeabilidad duradera y de largo plazo. Todas las partes implicadas deben interactuar estrechamente para minimizar la probabilidad de errores.



Penetración de agua bajo presión hidrostática

El límite de permeabilidad se define como la cantidad máxima de agua que puede penetrar en el hormigón bajo una presión específica durante un periodo de tiempo definido.

Inmersión y contacto permanente con agua

El límite de permeabilidad al agua (para considerar un hormigón impermeable) se define como  $g/m^2 \times \text{horas}$ , en casos en los que la permeabilidad del agua es menor que el volumen evaporado sin presión durante un periodo de tiempo definido.

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula	
Áridos	Se puede utilizar cualquier árido de calidad	Se pueden utilizar áridos de cualquier tamaño	
Cemento	Se puede utilizar cualquier cemento que cumpla con la normativa local	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación	
Aditivos en polvo	Ceniza volante o escoria de alto horno	Suficiente cantidad de finos por el ajuste de contenido de conglomerado	
Volumen de agua	Agua fresca o reciclada que cumpla con los requisitos de contenido de finos	Relación agua/cemento según las normas con respecto a la exposición	< 0.46%
Aditivos del hormigón	Superplastificante El tipo depende del lugar y de los requisitos de resistencia inicial Agente impermeabilizante	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.60% – 1.50%
		Sika®-1 Sika®-WT 120-L	1.50%
Requisitos de instalación	Productos de curado	Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies Sika Antisol®	
Sellado de juntas	Sellado de juntas de construcción y de movimiento, penetraciones y daños en la construcción	Sika®-Waterbars Sikadur®-Combiflex® Sistema Sika® Injectoflex o/y Sika®-Fuko SikaSwell®	
Sistemas de impermeabilización	Sistemas de membrana impermeable y flexible Sistema de membrana adherida	Sikaplan® Sikaproof®-A	

### Normas y publicaciones de referencia

- DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton (2001-07), Beuth-Verlag, Berlin
- DIN EN 206: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (2001-07), Beuth-Verlag, Berlin
- DAfStb Heft 555 „Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“
- US Army Corps of Engineers (USACE) CRD- C48-73 “Permeability of Concrete”
- British Standard BS 1881 Part 122

La impermeabilidad del hormigón frente al agua se determina por la impermeabilidad de la matriz cementosa, por ejemplo, la porosidad capilar. Algunos factores decisivos de dicha porosidad capilar son la relación agua/cemento, el contenido y el tipo de materiales puzolánicos o de actividad hidráulica latente. Un superplastificante potente es utilizado para bajar la relación agua/cemento. Esto permite disminuir el volumen de los poros capilares en la matriz del hormigón al tiempo que el hormigón se trabaja con mayor facilidad. Estos poros son los caminos de migración potenciales por los que el agua penetra en el hormigón. La elección del superplastificante resulta importante a la hora de ayudar al constructor en obra a la hora de la colocación del hormigón. Ciertas cuestiones como clase de consistencia, su mantenimiento en el tiempo, una alta resistencia temprana y un buen terminado de la superficie pueden convertirse en factores influyentes. Un segundo aditivo reacciona con los iones de calcio en la pasta del cemento para producir un revestimiento hidrofóbico dentro de los propios poros capilares; lo que consecuentemente bloquea los poros y proporciona una protección efectiva incluso a 10 bares (100 metros de columna de agua). Cuando se llega al lugar, el hormigón puede bombearse o tratarse según los métodos convencionales. El hormigón debe colocarse, compactarse y curarse de acuerdo a las buenas prácticas del mismo.

Un sistema correcto para tratar las juntas (juntas de construcción y de movimiento) es la clave para lograr una estructura impermeable. Las secuencias de vertido del hormigón y el tamaño del vano han de tenerse en cuenta a la hora de reducir el riesgo de fisuración por retracción plástica. Se aconseja no exceder la relación 3:1 para los poros de los muros en particular; lo que significa que las juntas de construcción serán casi inevitables dentro de la estructura.

Por un lado, un diseño correcto de cualquier tipo de junta es esencial. Pero, por otro lado, la colocación e instalación cuidadosa del sistema de juntas son decisivas para lograr la impermeabilización de las construcciones. Si existen fugas de agua en el hormigón estanco, esto suele deberse en la mayoría de los casos a juntas de construcción mediocres. Asimismo, se deben tener en cuenta otros detalles como los huecos de los espadines y las penetraciones necesarias. Se dispone de diferentes sistemas de juntas dependiendo del nivel de protección que se necesite, desde la presión de agua exterior hasta el uso previsto de una construcción. Las juntas de construcción se suelen sellar utilizando cintas hidrofílicas que vienen en varias formas y tamaños y se hinchan si entran en contacto con agua. Estas cintas suelen tener una superficie de protección que reduce el riesgo de hinchado prematuro, como en el caso de lluvia antes de que se vierta el hormigón.

Para las estructuras que requieren un mayor nivel de protección, hay disponibles sistemas de juntas más avanzados, que pueden ofrecer una combinación de elementos hidrofílicos mezclados en el propio tubo de inyección de resina. Este método proporciona una línea de defensa secundaria excelente (Sistema Fuko® Sika®).

Para los casos en los que se necesiten juntas de dilatación, se pueden sellar utilizando cintas de poliolefina aseguradas interna y externamente gracias a adhesivos epoxi especiales o waterbars tradicionales de PVC (Sistema Sikadur®Combiflex SG).



La absorción de agua del hormigón bajo presión mide la cantidad máxima de agua en mm durante un tiempo definido a una determinada presión. (24 horas con 5 bares según EN-12390-8)



Sika Waterbars son perfiles preconformados de PVC flexibles para las juntas de construcción y de movimiento que pueden someterse tanto a altas como a bajas presiones de agua.



# Hormigón con Alta Durabilidad, que reduce la Corrosión en las Armaduras

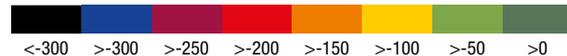
El hormigón es un material de construcción ingenioso, porque si se combina con armadura de acero adquiere una tremenda capacidad de carga. La combinación con acero cuenta con la ventaja, en condiciones normales, de que el alto pH del hormigón crea una capa pasiva de hidróxidos de hierro en la superficie del acero que le sirve de protección frente a la corrosión. En particular, el acero puede poner en peligro la durabilidad de la construcción en caso de que exista humedad y sal. Los proyectos de zonas costeras o en lugares en los que se utilizan agentes anticongelantes han de protegerse permanentemente de la corrosión del acero.



Daños en una estructura de hormigón debido a un recubrimiento insuficiente y a la mala calidad del hormigón



Escala de color



Medición potencial de un muro de contención situado a lo largo de una carretera con mucho tráfico en la que se utilizan grandes cantidades de sales anticongelantes. Menos de 10 años de exposición. Cuanto más oscuro es el color, mayor potencial de corrosión.

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula
Áridos	Se puede utilizar cualquier árido de calidad	Se pueden utilizar áridos de cualquier tamaño
Cemento	Se puede utilizar cualquier cemento que cumpla con la normativa local	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación
Aditivos en polvo	Ceniza volante o escoria de alto horno, humo de sílice, puzolanas naturales	
Volumen de agua	Agua fresca o reciclada que cumpla con los requisitos de contenido de finos	Relación agua/cemento según las normas con respecto a la exposición < 0.46%
Aditivos del hormigón	Superplastificante El tipo depende del lugar y de los requisitos de resistencia inicial Inhibidor de la corrosión	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®  Sika® FerroGard®-901 0.60% – 1.50% 10 – 12 kg/m³
Requisitos de instalación	Productos de curado	Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies Sika Antisol®
Sistemas de protección	Protección de la superficie frente a la penetración de cloruros y de carbonato cálcico	Sika ofrece una amplia gama de soluciones rígidas y flexibles para prevenir la penetración del agua. Solución Sika: Sikagard®

### Normas y publicaciones de referencia

- ASTM C1202 - Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration
- ACI 222 - Protection of Metals in Concrete Against Corrosion
- ASTM C1582 / C1582M - Standard Specification for Admixtures to Inhibit Chloride-Induced Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete
- "Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States" PUBLICATION NO. FHWA-RD-01-156;  
Authors Gerhardus H. Koch, Michiel P.H. Brongers, and Neil G. Thompson, CC Technologies Laboratories, Inc., Dublin, Ohio Y. Paul Virmani U.S. Federal Highway Administration, Turner-Fairbank Highway Research Center, McLean, Virginia J.H. Payer Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio



Las prácticas habituales de construcción aseguran que la corrosión de la armadura de acero es limitada. En estas prácticas se cuenta con unos mínimos en cuanto a la calidad del hormigón (relación agua/conglomerante, contenido de cemento, un mínimo de resistencia) y al revestimiento de armaduras de hormigón. Sin embargo, existen muchos casos, sobre todo en aquellos en los que el ambiente tiene un alto contenido en cloruros (sales anticongelantes, agua del mar o, incluso, componentes del hormigón contaminados) en los que estos procedimientos de protección básica resultan insuficientes. Por ejemplo, entre los 583.000 puentes de Estados Unidos, los cálculos indican que aproximadamente el 15% son deficientes a nivel estructural debido a la corrosión del acero y de la armadura de acero.

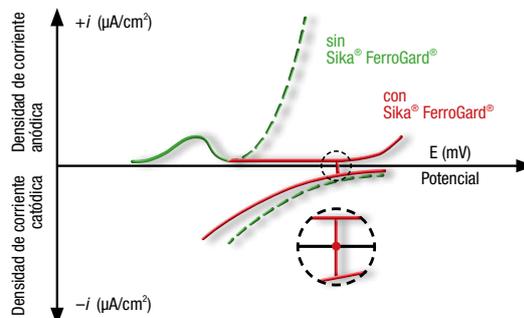
Con el fin de prevenir la corrosión o retrasar el comienzo de la misma y, por lo tanto, aumentar la duración de la estructura, se pueden dar tres pasos adicionales para proteger el acero de la corrosión: mejorar la calidad del hormigón, utilizar inhibidores de la corrosión y aplicar capas de protección.

Una mejora de la calidad del hormigón significa reducir el número y el tamaño de los poros capilares, lo que aumenta la densidad de la matriz del hormigón y, como resultado, impide el paso de cloruros o de CO<sub>2</sub> en el hormigón. Si se reduce la relación agua/cemento mediante la aplicación de una mayor cantidad de reductores de agua o mediante el uso de materiales cementosos suplementarios, como la ceniza volante o las puzolanas naturales, se consiguen oportunidades para mejorar el diseño de la mezcla en la tecnología del hormigón.

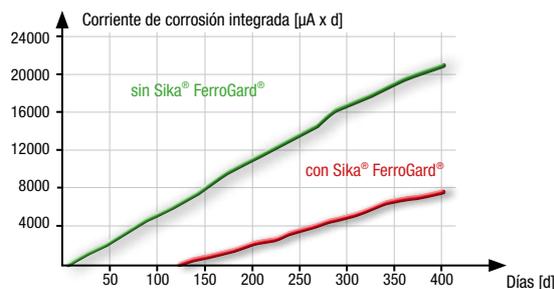
Cuando se elige mejorar la calidad del hormigón para protegerlo de la corrosión, se debe prestar especial atención en ubicarlo correctamente, en el curado y en la retracción potencial de la mezcla del hormigón, ya que los cloruros y el CO<sub>2</sub> pueden penetrar hasta la armadura de acero a través de las pequeñas grietas con independencia de la densidad de la mezcla del hormigón.

Los inhibidores de la corrosión se añaden a la mezcla durante el proceso de dosificación. Los inhibidores no influyen de manera significativa en la densidad del hormigón o en la penetración de cloruros o CO<sub>2</sub>, pero actúan directamente en el proceso de corrosión. Los inhibidores de la corrosión se pueden clasificar de muchas formas. Por un lado, como un aditivo que retrasa el inicio de la corrosión o, por otro lado, como un aditivo que reduce la velocidad de corrosión del acero embebido en el hormigón, o ambos en casos del hormigón que contiene cloruros.

Según otra definición, estos inhibidores deben reducir la velocidad de corrosión y el área dañada de las barras de la armadura en hormigones



El acero en el hormigón que contiene cloruros; con y sin Sika®FerroGard®. Sika®FerroGard® desplaza los cloruros a la superficie del acero. Forma una capa de protección que mueve el potencial de corrosión y reduce la densidad de corriente a un nivel muy bajo.



El Departamento de Investigación y Desarrollo de Sika, en Zúrich, probó los efectos anticorrosivos de Sika®FerroGard® en las vigas de hormigón fisuradas. Los ensayos se produjeron de acuerdo a las normas ASTM G 109 y se trataron de forma cíclica con sales anticongelantes. Las mediciones periódicas de la corriente de corrosión prueban la protección de Sika®FerroGard®.

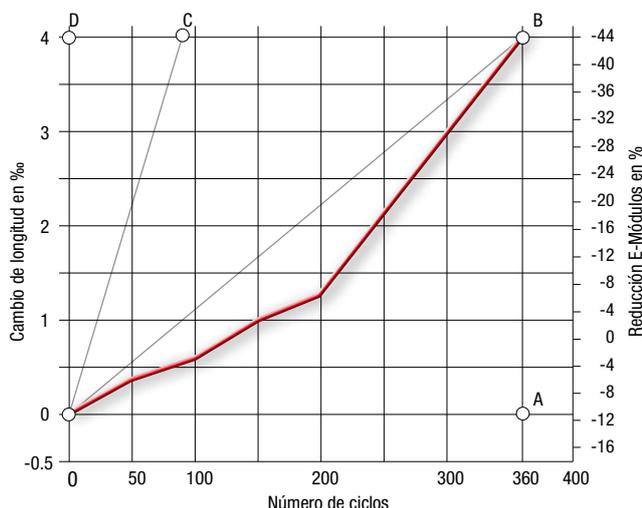
que contengan cloruros. Hoy en día los inhibidores principales son los productos basados en nitrito de calcio o en aminoésteres.

Los revestimientos de protección y/o las pasivantes se utilizan para reducir la entrada de cloruros y de dióxido de carbono. Dichas capas pueden aplicarse según dos procedimientos básicos: en la superficie del hormigón o en las barras de la armadura de acero antes de que se embeban en el hormigón.

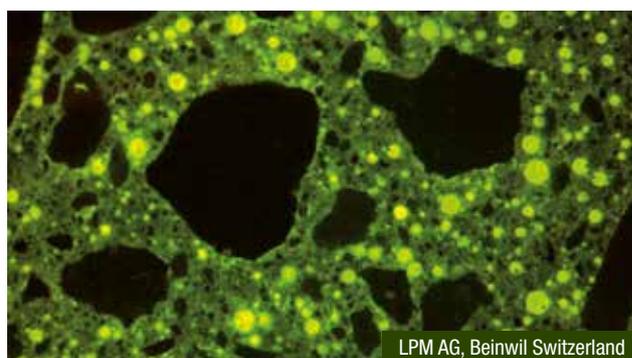


# Hormigón Resistente a Ciclos de Hielo / Deshielo

Las sales anticongelantes atacan a las superficies de hormigón y se consideran uno de los deterioros más dañinos para este tipo de estructuras, aunque se ha subestimado durante décadas debido al uso de enormes cantidades periódicas de estas sales. Gracias a una serie de técnicas estructurales adecuadas y al estudio de las mediciones tecnológicas básicas relativas al hormigón, los materiales de construcción han demostrado una gran resistencia permanente a las heladas a pesar de la amenaza que representan las sales anticongelantes.



**Rango de resistencia** AOB = alto (WF-L > 80 %)      **Radio:**  
 BOC = medio (WF-L = 80-25 %)      **Alto WF-L = 94 %**  
 COD = bajo (WF-L < 25 %)



Las burbujas de aire que se introducen artificialmente por aditivos aireantes de aire generan espacios de expansión en las estructuras de hormigón que permiten un crecimiento aproximado del 10% del volumen de agua cuando ésta se congela y se convierte en hielo.

En el test BE II de acuerdo con la normativa D-R 400, las pruebas prismáticas están sujetas a la alternancia de cargas entre +20°C y -20°C, el cambio de longitud se mide y juzga en tres rangos de durabilidad (bajo / medio / alto). El cálculo se realiza de acuerdo con la ASTM C666.

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula	
Áridos	Los áridos que se utilicen tienen que ser resistentes a las heladas	Se pueden utilizar áridos de cualquier tamaño	
Cemento	Se puede utilizar cualquier cemento que cumpla con la normativa local El cemento Portland puro para resistencia máxima	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación	
Aditivos en polvo	Para una mayor compactación	Sikafume®	Hasta max. 4%
Volumen de agua	Agua limpia, sin contenido de finos	Relación agua/cemento según las normas con respecto a la exposición	< 0,46%
Aditivos para hormigón	Superplastificante La dosis depende de la fórmula (el superplastificante y los aditivos aireantes deben ser compatibles entre si)  Aditivos aireantes (tiempo de mezclado aprox. 90 seg.) La cantidad requerida de aditivos aireantes es alta dependiendo del cemento y de la cantidad de finos de la arena	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.60% – 1.40%
		Dosis SikaAer®: Burbujas de aire con: - un diámetro máx. de partículas de 32 mm - un diámetro máx. de partículas de 16 mm	0.10 – 0.80%  approx. 3.0 – 5.0% approx. 4.0 – 6.0%
Requisitos de instalación	El hormigón resistente al hielo debe transportarse únicamente en camión hormigonera y debe mezclarse de nuevo minuciosamente antes de su uso (aprox. 30 seg./m³). Han de realizarse mediciones periódicas del aire ocluido. Producto de curado	Cuidado en la puesta en marcha y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies  Sika Antisol®	

### Normas y publicaciones de referencia

- Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton, Forschungsgesellschaft für Straßen-und Verkehrswesen (FGSV) 2004
- ACI 306R - Cold Weather Concreting
- ACI 201.2R - Guide to Durable Concrete, Chapter 4 - Freezing and Thawing of Concrete
- ASTM C 457 - Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete
- ASTM C666 / C666M - Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing

Las temperaturas extremadamente bajas que producen la congelación del agua son una gran amenaza en las estructuras de hormigón especialmente en zonas donde se construyen pistas y carreteras, pero también para las estructuras que sufren la presión de la lluvia y del rocío, tales como los muros de contención, las calzadas, los puentes o las entradas de los túneles, así como los propios edificios.

En los sitios en los que el hormigón está cerca de la superficie, el agua se filtra en dicho material como resultado de la capilaridad. Si el agua se congela y se convierte en hielo, aumenta su volumen en casi un 10%, lo que significa que se ejerce una mayor presión en los huecos que el agua ocupó. Dependiendo de las propiedades mecánicas del hormigón (transferencia de tensiones), esta presión puede tener como resultado cambios mínimos o en pequeñas fisuras en la microestructura del hormigón. Una deformación aislada podría considerarse un hecho insignificante, pero las fluctuaciones en la temperatura durante el invierno a lo largo de los años se repiten en innumerables ocasiones. Las fisuras diminutas pueden provocar el descantillado de la superficie, mientras que el ataque al hormigón continúa produciéndose hasta llegar a las zonas reforzadas, que a veces también resultan amenazadas.

Las sales anticongelantes se emplean a menudo para evitar la formación de hielo en las aceras y en las carreteras. Estos agentes llevan a cabo un deshielo rápido en las superficies de hormigón, un proceso que extrae una cantidad considerable de calor del hormigón en un corto periodo de tiempo; lo que significa que en las zonas en las que el hormigón está cerca de la superficie, la temperatura se desploma más de 10°C en 1 ó 2 minutos. El uso de estas sales anticongelantes con el agua ya congelada genera unos picos de tensión mayores.

Desde el punto de vista de la tecnología del hormigón, estas diferencias de tensiones pueden medirse con dos métodos primarios, aunque ambos son insuficientes por sí solos. Por un lado, se debe mantener la mínima cantidad posible de agua en el hormigón con alta resistencia a la congelación y expuesto a sales anticongelantes, lo que reducirá en gran medida la cantidad de agua libre que correrá por la estructura del hormigón. Asimismo, hay que contar que el exceso de agua residual, que siempre está presente en el hormigón, necesitará espacio para su expansión. De este modo el incremento de volumen provocado por la congelación será absorbido sin generar ninguna presión interna. Estos huecos, introducidos de manera artificial y creados durante el proceso de fabricación con aditivos aireantes, tienen que ser lo más pequeños, cerrados y esféricos posibles con un diámetro de entre 0,02 y 0,03 mm. Las burbujas con un tamaño mayor no contribuyen a que el hormigón sea altamente resistente a la congelación. El número de burbujas, medido según el ensayo de presión del aire antes de la colocación del hormigón, depende de la cantidad de pasta cementicia (15-20% del volumen de dicha pasta) y debe estar entre el 4 al 6% del volumen del hormigón.

Un método muy utilizado para medir el nivel de congelación del hormigón y la resistencia a las sales anticongelantes consiste en la congelación y descongelación sucesivas en una bañera de agua a la vez que se realizan mediciones de la diferencia de tamaño antes y después de la prueba.



Superficie prácticamente sin exposición a la intemperie



Superficie muy expuesta a la intemperie



Las sales anticongelantes esparcidas intensifican considerablemente la reacción una vez que el agua se ha congelado y provocan un daño mucho mayor en zonas en las que el hormigón está cerca de la superficie.



# Hormigón Resistente a Sulfatos

Las estructuras de hormigón, sobre todo en las construcciones subterráneas, aparte de estar expuestas a pesadas cargas y a usos durante décadas, han de hacer frente a las presiones que provienen de la infraestructura como fuerzas mecánicas permanentes, así como al agua agresiva. Sin embargo, el hormigón nunca se ha caracterizado por una gran durabilidad. Las soluciones que contienen sulfatos, como en el agua subterránea natural o contaminada, constituyen un impacto que deteriora considerablemente el hormigón, lo que finalmente puede provocar la pérdida de resistencia, la expansión del material, el descantillado de las capas superficiales y, en último caso, la desintegración.



Muestras de hormigón donde se aprecia el antes y después del mismo sometido a un ataque por sulfatos. El hormigón muestra un aumento considerable de longitud debido al descantillado. Las primeras grietas han aparecido en la muestra.



Inmediatamente después del proceso de curado al vapor, la superficie de hormigón de los segmentos de un túnel hay que cubrirla con una emulsión epóxica acuosa que para que la absorban todos los poros, incluso los más pequeños, y se genere una capa sellada protectora.

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula	
Áridos	Se puede utilizar cualquier árido de calidad	Se pueden utilizar árido de cualquier tamaño	
Cemento	Tiene que cumplir la normativa EN 206 con una resistencia media – alta a los sulfatos y la ASTM C-150 de cementos resistentes a sulfatos	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación	
Aditivos en polvo	Ceniza fina o escoria de alto horno, humo de sílice, puzolanas naturales	Sikafume®	4.0 – 8.0%
Contenido de agua	Tiene que cumplir la normativa EHE-08 dependiendo del tipo de exposición	Relación agua/cemento I IIa IIb IIIa; IIIb IIIc IV	< 0.65 < 0.60 < 0.55 < 0.50 < 0.45 < 0.50
Aditivos para hormigón	Superplastificante El tipo depende del emplazamiento y de los requisitos de resistencia temprana	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.60% – 1.50%
Requisitos de instalación	Producto de curado	Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies Sika Antisol®	
Sistema de protección / Sistema de curado especial	La resistencia del hormigón a productos químicos es muy limitada. Las capas de protección adecuadas pueden proteger de forma duradera las superficies de hormigón frente a la intemperie	Curado especial de los segmentos de los túneles ya prediseñados una vez desmoldado con Sikagard®	

### Normas y publicaciones de referencia

- DIN EN 206: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (2001-07), Beuth-Verlag, Berlin
- ACI 201.2R – 08 Guide to Durable Concrete, Chapter 6 - Chemical attack
- ASTM C 452 - Standard Test Method for Potential Expansion of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate
- ASTM C 1012 - Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution

El ciclo de vida previsto para una estructura de hormigón se asegura mediante el diseño adecuado de la mezcla, que se adapta a los diversos impactos dependiendo del tipo de exposición. El sulfato que contiene el agua reacciona con el aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) del cemento para formar etringita (también taumasita bajo ciertas condiciones), que llevan a un incremento del volumen. Dicho aumento provoca altas presiones internas en la estructura del hormigón que puede conllevar la formación de grietas y descantillado. Este tipo de ataque se clasifica en el grupo de los ataques químicos, en los que un hormigón estándar, que no ha tomado ninguna medida en particular, puede sufrir daños significativos. La experiencia demuestra que la pérdida de adhesión y de resistencia son a menudo daños más graves que los producidos por la expansión y las grietas.

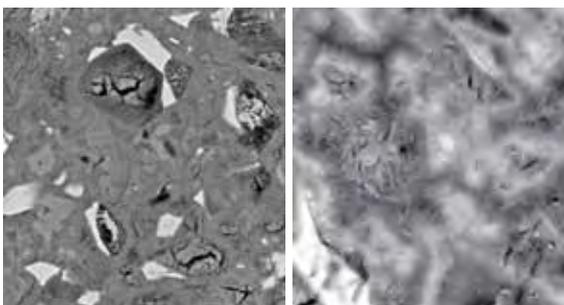
La resistencia del hormigón a sulfatos está determinada por la resistencia a sulfatos de la matriz del cemento, así como por su capacidad de soportar la difusión de los iones de sulfato a través de su matriz. El hormigón que pretende ser resistente a los sulfatos debe tener una alta impermeabilidad, así como una alta resistencia a compresión. Asimismo, deben utilizarse cementos con bajo contenido en  $C_3A$  y  $Al_2O_3$  con el fin de reducir el número de reacciones que lo deterioren. Resulta aconsejable añadir humo de sílice, ya que contribuye a crear una mayor densidad en la matriz del cemento, por lo que se mejora la unión entre la matriz del cemento y los áridos, lo que da como resultado una mayor resistencia a compresión.

Según la EN 206-1, el ataque de los sulfatos se considera como un ataque de exposición química. Por ello, la clase de exposición está determinada por la cantidad de sulfato que se prevé contenga el agua que estará en contacto con el hormigón. Según la clase de exposición, se requerirá una cantidad mínima de cemento combinada con una relación máxima de agua/cemento, así como la utilización obligatoria de cemento con una alta resistencia a los sulfatos.

En los túneles la durabilidad es de una importancia decisiva y el ataque de los sulfatos es constante, por lo que se convierte en un reto. Esto ocurre sobre todo en los casos de túneles con segmentos prefabricados para la tuneladora y el soporte rocoso, donde es necesario proyectar hormigón. En las excavaciones en las que se cuenta con el ataque de sulfatos, es complicado cumplir con todos los requisitos técnicos a menos que se tomen las medidas apropiadas según la mezcla de hormigón que se haya diseñado. En el caso del hormigón proyectado, es obligatorio usar aceleradores libres de sustancias alcalinas para conseguir la resistencia adecuada.



Forma clásica del ataque del sulfato asociado a la formación de etringita o de yeso. Crecimiento de una gran cantidad de bastones de etringita en la pasta del cemento sometidos a soluciones del exterior.



Núcleos de etringita formados en la pasta de hormigón vieja. El esquema de la derecha muestra una pasta de dos años sometida a ataques de sulfatos. Se ven claramente los núcleos de etringita formados con C-S-H.

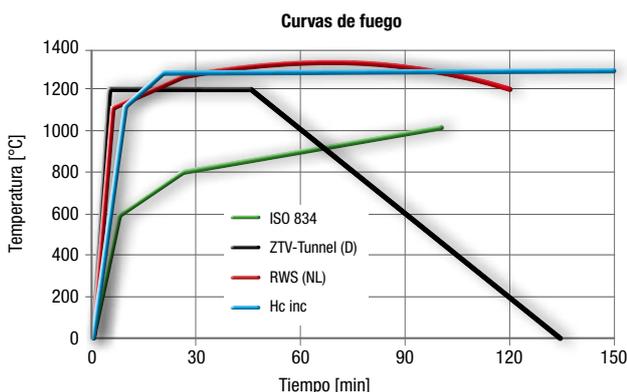
La utilización de segmentos de túneles rápidos e industriales requiere la producción de ciclos de tan sólo unas horas, con una temperatura máxima de desarrollo del hormigón de  $60^{\circ}C$ .

Pero es muy complicado con cementos convencionales resistentes a sulfatos, ya que estos cementos muestran una resistencia inicial más baja. Una mezcla de hormigón que contenga humo de sílice y un superplastificante cumple ambos criterios, pero este sistema es muy sensible al curado debido a la formación de grietas. Si se aplica una emulsión epóxica de base acuosa inmediatamente después del desencofrado de los segmentos, se puede producir un hormigón libre de micro-grietas.



# Hormigón Resistente al Fuego

La amenaza del fuego está presente siempre en todas partes. Este peligro inminente depende del tipo de exposición y, naturalmente, difiere si la construcción amenazada es un paso subterráneo para peatones, un túnel en una carretera o un garaje subterráneo de un rascacielos. El hormigón es el material portante en casi todas las estructuras construidas y, por lo tanto, existe un alto riesgo, ya que toda la estructura se derrumbaría si se produjera un fallo en dicho material. Por ello, el hormigón, con independencia del tipo de peligro del que se trate, tiene que formularse de manera adecuada o protegerse con medios externos con el fin de evitar posibles fallos en caso que se produzcan altas temperaturas en un incendio.



Estas curvas de evaluación simulan el perfil de la temperatura dentro del túnel. El ejemplo de la curva RWS está basada en la máxima exposición posible en el peor escenario; se define como un fuego en un camión cisterna con una capacidad de carga de 50 m<sup>3</sup> con un 90% de hidrocarburo líquido (combustible).



En una cámara de horno especial, se puede replicar la trayectoria del fuego, probar los revestimientos y evaluar. Se mide la evolución de la temperatura en varios puntos y se registra.

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula	
Áridos	Áridos del tipo de los carbonatos: caliza, dolomita, yesos son mejores ya que se calcinan. Los áridos que contienen sílice no resultan tan buenos.	Se pueden utilizar áridos de cualquier tamaño	
Cemento	Se puede utilizar cualquier cemento que cumpla con la normativa local	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación	
Contenido de agua	Agua fresca o reciclada que cumpla con los requisitos de contenido de finos	Relación agua/cemento según las normas con respecto a la exposición	< 0,48%
Aditivos del hormigón	Superplastificante El tipo depende del emplazamiento y de los requisitos de resistencia temprana	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.60% – 1.20%
	Polímeros o hilos monofilamentos de polipropileno	Sika® Fibers	2.0 – 3.0 kg/m <sup>3</sup>
Requisitos de instalación		Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies	
Protección pasiva del hormigón	Morteros ligeros de aplicación mediante proyección	Sikacrete® -F	25 – 40 mm

### Normas y publicaciones de referencia

- ZTV-ING Teil 5: Tunnelbau
- ACI 216 - Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies
- ASTM E119 - Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials
- ÖVBB Merkblatt, Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke, 2006
- VDV-Förderkreis, Fire Protection in vehicles and tunnels for public transport, 2005

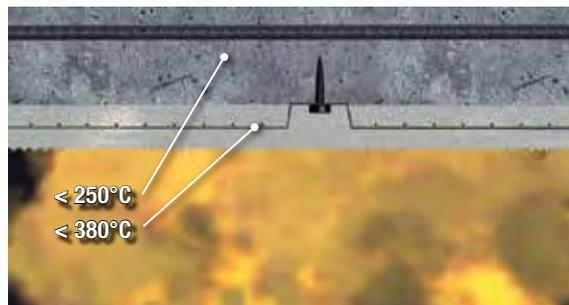


El hormigón es un material de construcción fabricado con componentes no combustibles como el cemento, áridos y agua. La conductividad térmica del hormigón es de 1,5 a 3,0 W/m°C aproximadamente, por lo que este material resulta adecuado como protección contra el fuego ya que resiste los efectos del calor directo antes de que el acero se debilite hasta el punto de colapso estructural. La resistencia al fuego se define como la capacidad de una estructura para cumplir con las exigencias requeridas (función de soporte de carga y/o función de separación) en una exposición al fuego determinada y durante un periodo de tiempo específico (integridad). La resistencia al fuego se aplica a los elementos constructivos y no a los propios materiales, pero las propiedades de los mismos afectan a la resistencia del elemento del que forman parte (Eurocode 2). Los modelos tiempo-temperatura relacionan el tipo de combustible consumido, el volumen del combustible, los efectos de ventilación y la localización del fuego. En la mayoría de los casos la temperatura del fuego crece rápidamente en minutos, lo que puede llevar al comienzo de un astillamiento cuando la humedad inherente en el hormigón se convierte en vapor y se expande. El escenario más grave de todos es el que representa la curva RWS de los Países Bajos, que representa un enorme fuego de hidrocarburos dentro de un túnel. Existen varias opciones disponibles para mejorar la resistencia al fuego del hormigón. La mayoría de los hormigones contienen cemento Portland o cemento mezclado Portland que empieza a degradar las propiedades importantes por encima de los 300°C y a perder la resistencia estructural por encima de los 600°C. Por supuesto que la profundidad de la zona debilitada puede ir de unos pocos milímetros a muchos centímetros dependiendo de la duración del fuego y de la temperatura máxima alcanzada. El cemento con alto contenido en aluminio, que se utiliza para proteger los revestimientos refractarios que alcanzan temperaturas de hasta 1.600°C, es el que mejor rendimiento muestra durante un incendio y resulta excelente para temperaturas superiores a 1.000°C.

La elección del árido influirá en gran medida en la presión térmica que se desarrolla durante el calentamiento de una estructura de hormigón. Los áridos del tipo de los carbonatos como la caliza, la dolomita y los yesos son mejores en caso de incendio ya que se calcinan cuando se calientan y liberan CO<sub>2</sub>. Este proceso requiere calor, así que la reacción absorbe una parte de la energía exotérmica del fuego. Los áridos que contienen sílice no suelen dar tan buenos resultados en los incendios. Por último, cuando el rendimiento térmico está relacionado con la conductividad térmica del hormigón, el uso de áridos ligeros puede mejorar la resistencia al fuego del hormigón en ciertas condiciones. Los polímeros o las fibras monofilamentadas de polipropileno pueden



En sayos de exposición al fuego de hormigón que contiene distintos agregados. Descantillado de la superficie y sinterización, se puede comprobar el desarrollo de la temperatura en diversos grosores.



Si un intradós necesita una protección, se recomienda la utilización de un refuerzo con malla de alambre.

contribuir de manera significativa a la reducción del fenómeno de "spalling", por lo que se mejora la "resistencia al fuego" del hormigón. En un incendio, dichas fibras se derriten alrededor de los 160°C y se crean canales por los que el vapor de agua resultante se escapa con lo que se minimiza la presión de los poros y el riesgo de descantillado. En condiciones en las que el riesgo de colapso estructural es inaceptable, los diseñadores examinan otras formas de proteger el hormigón de los efectos del fuego. Las alternativas van desde el aumento de espesor localizado del hormigón hasta el revestimiento utilizando protectores de calor con pinturas intumescentes, sistemas de paneles de protección y morteros ligeros que se aplican proyectados. El propósito de estos sistemas pasivos de protección frente al fuego depende del tipo de túnel así como de la manera en la que se quiere proteger.

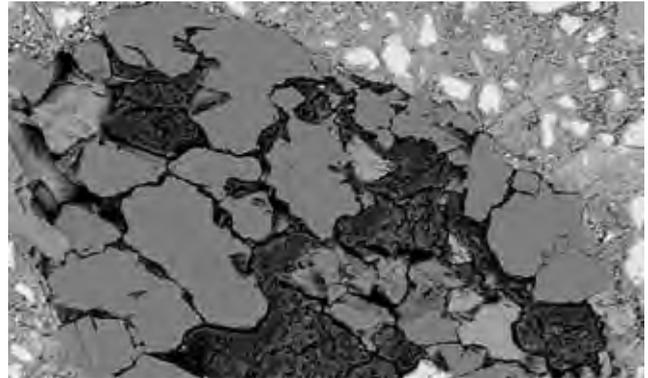


# Hormigón Resistente a la Reacción Sílico-Alcalina

Los áridos constituyen la mayor parte del hormigón, por lo que su influencia en el hormigón fresco y endurecido es considerable. Los fabricantes de hormigón, con el fin de ahorrar costes y energía, se centran en la utilización de áridos de áreas cercanas. Las fuentes de áridos de alta calidad se han reducido gradualmente, como resultado la industria de materiales de construcción y los constructores de la mayoría de los proyectos e infraestructuras buscan soluciones para utilizar áridos de menor calidad. La reacción sílico-alkalina (ASR), que puede ocurrir en los áridos, presenta un reto importante y puede afectar a la durabilidad del hormigón.



El daño producido por los sulfatos se hace visible a menudo al cabo de las décadas. Por tanto, se necesita determinar de manera precisa el riesgo para estimar el potencial daño áridos-álcali.



Los granos de sílice amorfo en los que han reaccionado los áridos con los iones alcalinos, formando un gel que se expande al contacto con el agua. Por tanto, los áridos se han hinchado y agrietado a la vez que se expandía la parte amorfa (una masa negra y agrietada)

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula	
Áridos	Se debe determinar previamente el potencial ASR de los áridos	Se pueden utilizar áridos de cualquier tamaño	
Cemento	Preferiblemente cementos con escoria de alto horno granulada o ceniza volante	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación	
Aditivos en polvo	Humo de sílice, ceniza volante o escoria de alto horno granulada	Sikafume®	3.0% – 6.0%
Contenido de agua	Agua limpia, sin contenido de finos	Relación agua/cemento según las normas con respecto a la exposición	< 0.48
Aditivos del hormigón	Superplastificante El tipo depende del emplazamiento y de los requisitos de resistencia temprana	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.60% – 1.20%
	Aditivos especiales que limiten la reacción ASR	SikaControl®-ASR	2.0 – 10.0 kg/m³
	Acelerantes de hormigón proyectado si se utiliza éste	Sigunit®-AF	3.0% – 6.0%
Requisitos de instalación	Agentes de curado	Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies Sika Antisol®	
Sistema de protección	Además de áridos libres de alcalinos y de reactivos, el hormigón debe contener humedad para que ocurra la reacción ASR. Si es una estructura expuesta al agua, la superficie de hormigón tendrá que protegerse	Sika ofrece una amplia variedad de soluciones flexibles y rígidas que previenen la entrada de agua. Soluciones: Sikagard®, SikaPlan®	

### Normas y publicaciones de referencia

- ASTM C 1260 - Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method), ASTM Standards in Building Codes 681–85.
- ASTM C 1293 - Standard test method for concrete aggregates by determination of length change of concrete due to alkali-silica, ASTM Standards in Building Codes 686–691.
- AFNOR P18-594 (2004) Granulats: Méthodes d'essais de réactivité aux alcalis, Association Française de Normalisation, Paris, France.
- AFNOR P18-454 (2004) Béton: Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali- réaction (essai de performance). Association Française de Normalisation, Paris, France.

Los grandes proyectos de infraestructuras como presas, carreteras o pistas de aeropuerto, requieren enormes cantidades de áridos, que se extraen de las zonas más próximas al lugar de construcción. Algunos áridos pueden mostrar un creciente o elevado riesgo de ASR. La reacción Silíceo-Alcalina es una reacción química que ocurre entre la sílice amorfa del árido y la solución para los poros (álcali) de la matriz del cemento. La reacción tiene como resultado un aumento del volumen del hormigón que causa fisuras y descantillado cuando las fuerzas generadas exceden la resistencia a tracción del hormigón. Las condiciones indispensables para que la reacción se produzca son la humedad en el hormigón, un alto contenido alcalino en la solución de los poros y áridos reactivos. Para evitar dicha reacción ASR, será de gran importancia diseñar correctamente la mezcla. Una elección adecuada de las soluciones puede evitar daños derivados de una reacción ASR, incluso aunque se utilicen áridos altamente reactivos.

El clinker aporta la mayor parte de la proporción de los materiales alcalinos. Cuanto mayor contenido de cemento tenga la mezcla, más alcalina será. Los cementos mezclados introducen un bajo contenido de materiales alcalinos. Una relación agua/cemento bajo se considera el factor clave para conseguir un hormigón denso e impermeable. Un hormigón denso ralentiza la difusión de materiales alcalinos libres y la migración del agua hacia los áridos. Para que ocurra la reacción ASR, se necesita que los áridos sean altamente sensibles a las sustancias alcalinas, como es el caso de las piedras calizas con sílice, calizas arenosas, gneis y cuarcita muy deformada. Los áridos porosos, fisurados, erosionados o machacados tienen una mayor capacidad de reacción que los que cuentan con una estructura densa y una superficie redondeada. Los aditivos puzolánicos como ceniza volante, escoria de alto horno granulada y polvo de sílice reaccionan y consumen iones hidróxilos (alcalinos) durante la hidratación. Esta reacción reduce el valor del pH de los poros, por lo que disminuye la posibilidad de que ocurra una reacción ASR. Los aditivos puzolánicos difieren en forma y reactividad dependiendo de su procedencia, pero, generalmente, su efecto es más homogéneo si se añade al proceso de trituración del cemento en vez de en el momento de la mezcla. Sin embargo, aquí nos encontramos con un punto de discusión sobre si la eficacia de los aditivos reduce la velocidad de reacción ASR.

Los aditivos como acelerantes tradicionales del hormigón proyectado



El aumento de volumen provocado por la presión resultante de una reacción ASR, que se observa en las muestras de ensayo con los cambios en las medidas. Normalmente las muestras se guardan en condiciones de alta intensidad (temperatura, humedad, cargas adicionales) con el fin de acelerar la reacción.



En la superficie del hormigón seco de este pilar de un puente, pueden observarse muy bien los daños originados por la reacción ASR. Los daños pueden aparecer al cabo de años o de décadas.

pueden aportar altas cantidades de sustancias alcalinas, que aumentan en gran medida la reactividad de la solución de los poros. En el caso de los áridos que se consideran sensibles, se debe utilizar aceleradores libres de álcalis.

La experiencia nos ha demostrado que la inclusión de aditivos especiales puede cercar la reacción ASR, lo que previene su expansión. Otra solución posible es añadir un agente inductor de aire para crear un espacio artificial de expansión (poros de aire) para la reacción de los productos. Si el hecho de que pueda ocurrir una reacción ASR le causa una gran preocupación, se recomienda llevar a cabo pruebas previas para determinar el potencial de reacción.

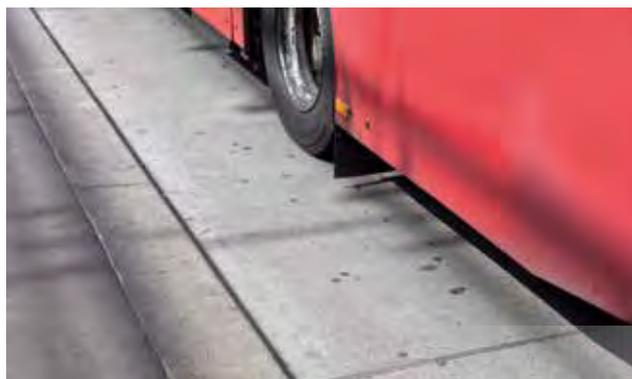


# Hormigón Resistente a la Abrasión

Los valles y los impresionantes cañones son testigos naturales de la indiscutible fuerza del agua. En primer lugar en las obras de ingeniería hidráulica, pero también en zonas de tráfico con grandes cargas o con cuerpos rodantes pesados, las superficies de hormigón experimentan una presión considerable y, a veces, incluso hasta abrasiva. Los daños dependen en gran medida del tipo de carga. La exposición de la superficie a fuerzas rodantes, de fricción o de percusión diferencia los diferentes tipos de daños, así como las medidas de prevención.



Las superficies de hormigón en agua dulce se ven amenazadas sobre todo por fuerzas adicionales, como las de fricción, las de las aristas vivas y las de abrasión, así como la de la temperatura debido a la exposición al hielo.



Las carreteras de hormigón y otras áreas de accesibilidad pública, sobre todo las que cuentan con un alto volumen de tráfico o cargas concentradas, están sujetos a grandes cargas mecánicas, además de abrasión, y a menudo se enfrentan al riesgo de una superficie lisa y manchada (pulida).

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula	
Áridos	Los áridos que se utilicen tienen que ser los de mayor dureza posible	Se pueden utilizar áridos de cualquier tamaño	
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con la normativa local	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación	
Aditivos en polvo	Polvo de sílice para aumentar la compactación	Sikafume®	hasta un máximo de 8%
Contenido de agua	Agua limpia, sin contenido de finos	Relación agua/cemento según las normas con respecto a la exposición	< 0,45
Aditivos del hormigón	Superplastificante El tipo depende del emplazamiento y de los requisitos de resistencia inicial	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.80 – 1.60%
	Fibras sintéticas	Sika® Fiber	3 – 4 kg/m³
Requisitos de instalación	Productos de curado	Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies Sika® Antisol®	
Recubrimiento de la superficie	La dispersión de los materiales por la superficie, aumenta la dureza Capa de protección	Sikafloor®	0.3 – 1.5 mm

### Normas y publicaciones de referencia

- DAfStb-Richtlinie "Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (2004)
- Betonabration im Wasserbau; Dr. Frank Jacobs; TFB Technische Forschung & Beratung für Zement und Beton, Wildegg Schweiz; TEC21 2004
- ACI 201.2R – 08 Guide to Durable Concrete, Chapter 8 – ABRASION
- ASTM C 779 - Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces
- ASTM C 1138 - Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method)

Durante el paso de las décadas e incluso de los siglos, la exposición a la abrasión puede provocar diversos tipos de daños. Antes que las cargas rodadas en las carreteras con tráfico, se debe tener en cuenta el tráfico pesado entre el que se incluyen las ruedas de acero, la exposición al agua, con o sin transporte adicional de sedimentos. En zonas con tráfico intenso, el tipo y el peso de las ruedas son factores decisivos para la carga en general. En el caso de abrasión por agua, es la velocidad de la corriente, la cantidad y el tipo de sedimentos los que son cruciales. Con el fin de aumentar la resistencia a la abrasión, la estrategia de dimensionamiento adecuada, en la mayor parte de los casos, es la de construir superficies duras. Sin embargo, si la exposición también se ve afectada por fuerzas de percusión o de fricción, entonces la capacidad de absorción de la superficie desempeña un papel crucial, que puede contradecir con el enfoque de la dureza. El principio básico más crítico en este concepto es la instalación apropiada del hormigón (prevención de la subida de finos a la superficie provocada por una vibración excesiva) y un curado excelente, así las propiedades del hormigón emergen a las zonas cercanas a la superficie. Además, la superficie debería ofrecer la menor resistencia posible a un ataque por abrasión. Las superficies muy lisas ofrecen el menor potencial para dicho ataque. La comprobación de los patrones de daños resulta bastante sencilla y se lleva a cabo evaluando la abrasión de la superficie, la condición de la capa de lechada del cemento y de los áridos cercanos a la superficie. El hormigón con una alta o reforzada resistencia a la abrasión debería demostrar una fuerza de compresión de aproximadamente 50 MPa. La superficie puede reforzarse contra la abrasión de forma considerable con el uso de micro sílices y/o endurecedores repartidos por toda la superficie. Para aumentar la resistencia contra los ataques especiales o percutores, hay que mejorar la dureza y la resistencia a la flexión del hormigón, que puede lograrse con el uso de refuerzos de fibra en la mezcla. La mejora de dicha capacidad del hormigón en general puede llevarse a cabo mediante la mezcla de polímeros sintéticos que refuercen la dureza de la pasta del cemento en la matriz, que además intensifican la adhesión con los áridos. Finalmente, debe existir una diferenciación adicional entre las distancias de transporte y las zonas de construcción para facilitar la disipación de la energía. En estas zonas, se recomienda el uso de un hormigón de alta resistencia reforzado con fibras sintéticas con una resistencia superior a 80 MPa y su correspondiente resistencia a la flexión.



Debido a una exposición continua, la capa de cemento se erosiona en una primera fase, y posteriormente áridos cada vez más grandes se frotan, se golpean y se lavan de la pasta de cemento.



Las superficies industriales también experimentan una alta abrasión debido al rodaje continuo y a las pesadas cargas situadas siempre en los mismos sitios. Las capas de hormigón y los dispersantes especiales pueden reforzar la adherencia del suelo y minimizar el desgaste.

En la construcción, ha de prestarse especial atención al diseño de los cantos. Se tiene que tratar de una manera especial tanto si se trata de juntas de dilatación en carreteras, como de bordes de desprendimiento en construcciones hidráulicas; la construcción únicamente con hormigón suele ser insuficiente. Se debe incorporar juntas especiales fabricadas a menudo con acero.



# Hormigón Resistente a los Productos Químicos

El agua es la fuente de toda la vida, pero también un bien escaso. El agua potable, por tanto, debe protegerse frente a la contaminación, mientras que el agua residual debe ser tratada antes de devolverse a las corrientes. Se considera que las aguas residuales en sí mismas y sus tratamientos son exposiciones químicas para las construcciones de hormigón donde se almacenan. El diseño adecuado del hormigón y una buena planificación debe llevarse a cabo para asegurar la durabilidad de la estructura. Sin embargo, la resistencia del hormigón a los ataques químicos está limitada, por lo que hay que prever y anticipar los sistemas de protección de la superficie en caso de una fuerte exposición.



El ataque de los sulfatos se produce en primer lugar por los sulfatos en el agua. Cuando reaccionan con la matriz del cemento endurecida, se produce un aumento del volumen que daña la estructura.



La disolución de los componentes de calcio en la matriz del cemento puede deberse al ataque de los ácidos, de las sales, a las grasas o a los aceites animales o vegetales. La degradación del hormigón se produce normalmente de una forma muy lenta.

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula	
Áridos	Los áridos que se utilicen tienen que ser de calidad alta y resistentes a la congelación	Se pueden utilizar áridos de cualquier tamaño	
Cemento	Cementos resistentes a los sulfatos Cementos con un alto contenido en carbonato cálcico Cementos que contengan polvo de sílice	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación	
Aditivos en polvo	Polvo de sílice, ceniza fina o escoria de alto horno	Sikafume®	3.0 – 6.0%
Contenido de agua	Agua limpia, sin contenido de finos	Relación agua/cemento según las normas con respecto a la exposición	< 0.45
Aditivos del hormigón	Superplastificante El tipo depende del emplazamiento y de los requisitos de resistencia inicial	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.80 – 1.60%
Requisitos de instalación	Producto de curado	Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies Sika® Antisol®	
Sistema de protección	La resistencia química del hormigón presenta altos límites. Si se superan dichos límites, las superficies de hormigón pueden protegerse con capas de forma duradera	Sika ofrece una amplia variedad de soluciones que previenen la entrada de productos químicos Solución Sika: Sikagard®, Sikafloor® & Sikalastic®	

### Normas y publicaciones de referencia

- ACI 201.2R – 08 Guide to Durable Concrete, Chapter 6 - Chemical attack
- ASTM C 88 - Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate
- Cemsuisse Leaflet MB 01 Concrete erosion in biological basins in wastewater treatment facilities June 2010
- Chemischer Widerstand: DAfStb-Richtlinie "Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (2004)

El agua se utiliza principalmente para regar y para beber. Además de estas aplicaciones, el agua se usa en la industria, en la agricultura, como medio de transporte y de muchas otras formas en la vida diaria. El agua y otros líquidos se conducen en tuberías y se almacenan en tanques; tanto de agua limpia como residual. El contacto de una superficie de hormigón con agua se produce principalmente en las actividades de conducción o de almacenamiento. Normalmente los tanques utilizados para almacenar agua potable o para purificar aguas residuales, así como las tuberías para su conducción, se fabrican con hormigón. El hormigón es un material de construcción importante sobre todo en los tratamientos de aguas residuales en las fosas de sedimentación, en los depósitos de aireación (descomposición de sustancias orgánicas), nitrificación y desnitrificación (conversión de aluminio y nitrato) o, incluso, en su limpieza. Por tanto, el reto es diseñar estructuras de hormigón que resistan a la exposición de diversas sustancias químicas y que, al mismo tiempo, soporten presiones. La fórmula del hormigón resistente a sustancias químicas, el tratamiento y la limpieza de los depósitos tienen que adaptarse entre sí y, en los lugares en los que sea insuficiente la resistencia del hormigón, será necesario protegerlo con capas especiales.

La resistencia a productos químicos, en este caso, significa la propia resistencia a la corrosión y a la erosión del hormigón. De todos los tipos conocidos de ataques por "spalling" como la acción hielo/deshielo (con y sin sales descongelantes), la reacción ASR (reacción sílico-alcalina), exposición a los sulfatos y a la abrasión mecánica, en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, en particular, predomina la agresión de productos químicos y disolventes. El agua que se trata en este tipo de instalaciones, no obstante, varía en gran medida para describir como uniforme el ataque a las superficies de hormigón. Un factor decisivo de la calidad del agua en general es también su dureza (°fh). Por un lado, la superficie del hormigón se ve atacada por una mezcla de productos químicos, mientras que por otro lado, en la superficie también ocurren fuerzas mecánicas (por ejemplo, fuerzas durante el proceso de limpieza). Por ello, los finos, que ya se habían disuelto, se desgastan pero se adhieren a la estructura de hormigón. Este proceso se acelera cuando nos encontramos con un agua débil (dureza < 15°fh o 8,4°dH) y con una reducción del valor del pH en la superficie del hormigón (por ejemplo, una película biológica). El diseño del hormigón, el curado y su posterior limpieza de la superficie se tiene que adaptar dependiendo de la exposición.

Mientras que para una limpieza mecánica, se considera que una superficie de hormigón compacto y resistente es óptima, un hormigón con un alto contenido en calcita tolera mejor los productos de limpieza químicos. La resistencia del hormigón a este tipo de productos tiene unos límites de resistencia altos. Si se exceden estos límites, las superficies de hormigón sólo podrán protegerse de forma duradera con capas apropiadas.



Se puede observar los fuertes lavados y los daños del hormigón en las zonas de los tanques con salpicaduras de agua de las cuencas de tratamiento biológico.

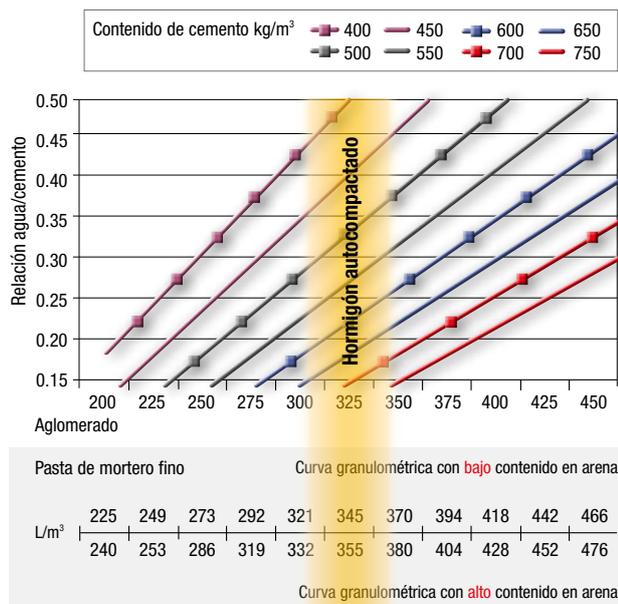


Las capas de protección basadas en resina epoxi se aplican a toda la superficie después de la remodelación de la superficie de hormigón con un mortero reparador y resistente a los sulfatos reforzado con material sintético.



# Hormigón de Alta Resistencia

Los hormigones de alta resistencia o superhormigones no son meramente tecnologías punteras para la investigación científica, sino que también siguen encontrando nuevas aplicaciones en la praxis. Los materiales de construcción con altas o las más altas propiedades (compresión, resistencia a la flexión, elasticidad y ductilidad) están encontrando su sitio en la tecnología del hormigón, tanto si se trata de un plano estético (por ejemplo, diseño) o de condiciones extremas (por ejemplo, terremotos). La durabilidad y la fuerza del hormigón son en este caso interdependientes.



Los hormigones de alta resistencia o superhormigones casi siempre están reforzados con fibras estructurales que serán sintéticas o de acero en función de los requisitos exigidos.

Los requisitos más importantes para conseguir elevadas propiedades mecánicas son la determinación del contenido de finos más apropiado y del volumen de pasta de cemento.

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula
Áridos	Se puede conseguir una dureza excepcional si se utilizan áridos de alta resistencia	Curva granulométrica bien distribuida con poca cantidad de finos
Cemento	Utilización de alto contenido de cemento de gran resistencia	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación
Aditivos en polvo	Refuerzo de las uniones entre los áridos y la matriz del cemento – polvo de sílice	Sikafume® 5.0 – 10.0%
Volumen de agua	Agua limpia, sin contenido de finos	Relación agua/cemento según las normas con respecto a la exposición < 0,38
Aditivos del hormigón	Superplastificante El tipo depende de la fluidez y a la consistencia	Sika® ViscoCrete® 1.0 – 4.0%
	Fibras sintéticas	Sika® Fiber 3 – 4 kg/m³
Requisitos de instalación	Un curado meticuloso que empiece cuanto antes y que dure de dos días (para los elementos interiores) a tres días (para los elementos exteriores), sobre todo si se utiliza polvo de sílice Productos de curado	Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies Sika® Antisol®

### Normas y publicaciones de referencia

- 211.4R - Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials
- Technische Universität München, Hochfester Beton, 2004



En la tecnología del hormigón, el de alta resistencia se define por su resistencia de compresión entre 60 y 120 MPa después de 28 días. Los superhormigones son los que tienen una resistencia a compresión por encima de los 150 MPa. Los hormigones de alta resistencia se caracterizan por una compresión mejorada, tanto la resistencia a la flexión como a la tensión, así como la ductilidad junto con una reforzada durabilidad. El cemento denso y la matriz aglomerante con una permeabilidad extremadamente baja son factores que mejoran la dureza del hormigón. Además, en los de alta resistencia, la matriz y los áridos se unen significativamente mejor. Una matriz con mayor densidad se consigue empleando relaciones de agua/cemento y agua/áridos bajos. La unión entre la matriz y los áridos se mejora si se utilizan materiales puzolánicos, entre los más comunes: el humo de sílice.

La retracción total de dicho hormigón es igual que la del normal, mientras que los valores de retracción química son superiores, entre los que se encuentra el de retracción por deshidratación. Se reduce la fluencia y una matriz de hormigón denso aumenta la resistencia a los contaminantes.

Los retos están presentes a lo largo de todo el proceso de producción. Las fórmulas especiales con concentraciones altas de materiales conocidos (cementos, aditivos o fibras) y de otros nuevos materiales previamente desconocidos en el hormigón (áridos cerámicos) se tienen que llevar a cabo en instalaciones de mezclado mejoradas y utilizarse como mezclas autocompactantes. Los aditivos de hormigón no sólo tienen la función de reducir extraordinariamente la cantidad de agua, sino que aumentan considerablemente la fluidez y plasticidad de los hormigones. El hormigón de alta resistencia ofrece una gran variedad de posibilidades de aplicación gracias a la versatilidad de sus características técnicas. Hoy en día su primera aplicación es en la variante del hormigón pretensado. Es muy adecuado para elementos de compresión como pilares con pesadas cargas y muros de edificios altos, sobre todo en zonas vulnerables a terremotos. Asimismo, los puentes diseñados con hormigón pretensado requieren una fuerza de compresión reforzada, lo que facilita la construcción de puentes con tramos amplios y esbeltas dimensiones.

Las estructuras que soportan exposiciones severas requieren la aplicación de un hormigón de alta resistencia. Algunos ejemplos pueden ser los elementos sujetos a cargas mecánicas y químicas como las superficies industriales, las áreas con tráfico denso, las estructuras en alta mar y las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Por otra parte, se necesita el hormigón de alta resistencia en las construcciones donde se requieren estructuras especiales como centrales hidroeléctricas, torres de refrigeración y chimeneas.



Para resistencias de compresión superiores a 150 MPa, el hormigón corriente no puede hacer nada. Los áridos de piedras se reemplazan, por ejemplo, por áridos de finos de origen cerámico, y toda la matriz nos recuerda ligeramente al hormigón clásico. En la ilustración se muestra el comportamiento de fluidez de un UHPC de 200 MPa.



Los componentes de construcción que soportan grandes presiones, tales como columnas y vigas, se fabrican con hormigón de resistencia alta. Una alta resistencia a las fuerzas externas hace también que este tipo de hormigón se convierta en una capa de protección para los demás elementos de construcción.

Debido a que dicho hormigón no sólo ofrece una alta resistencia, sino también temprana, se emplea preferentemente cuando los tiempos de trabajo en las zonas de tráfico son limitados (en casos de obras urgentes) o cuando se quiere reducir el tiempo programado.

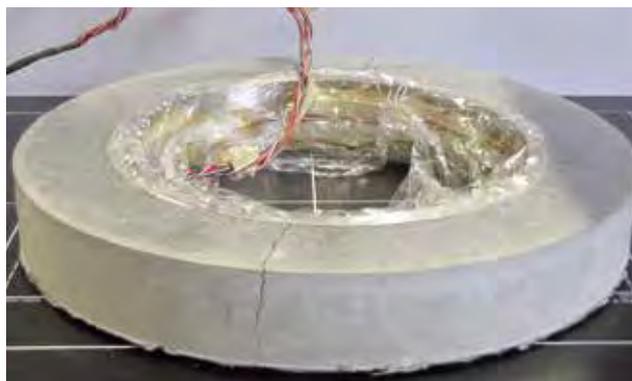


# Hormigón de Retracción Controlada

La prevención de fisuras contribuye a la durabilidad de las estructuras de hormigón, ya que las fisuras facilitan la penetración del agua y de los contaminantes. Los códigos de construcción actuales especifican los límites para el ancho de las fisuras dependiendo de las condiciones ambientales en las que se construye la estructura y su función prevista. Una de las razones principales por las que se forman fisuras en el hormigón es por la retracción relacionada con la deformación temprana del hormigón. Estas fisuras no sólo comprometen la estética, sino que reducen la durabilidad y la utilidad del hormigón. Existen diferentes tipos y fenómenos de retracción que se pueden controlar con las medidas correctas.



Fisuras producidas por la retracción plástica en un pavimento de hormigón debido a una protección insuficiente de la superficie, antes del secado prematuro



Comparación entre laboratorios de experimentos llevados a cabo en el Instituto Federal de Tecnología de Zurich para determinar el rendimiento de las mezclas de hormigón con retracción reducida

## Consejos para el diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Ejemplo de una fórmula	
Áridos	Un volumen alto de áridos puede reducir la retracción por secado	Se pueden utilizar áridos de cualquier tamaño	
Cemento	La retracción por secado puede reducirse con un volumen de pasta de cemento bajo	Volumen de pasta de cemento tan bajo como sea posible con respecto al método de colocación	
Contenido de agua	Un bajo contenido de agua favorece la reducción de la retracción plástica y de la retracción por secado La retracción autógena puede ocurrir con relaciones de agua/cemento inferiores a 0,4	Relación agua/cemento	< 0.45
Aditivos del hormigón	Superplastificante El tipo depende del lugar y de los requisitos de resistencia temprana	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.80 – 1.50%
	Agente reductor de la retracción	Sika® Control	0.5 – 1.5 %
	Fibras pequeñas de polipropileno pueden reducir los efectos de la retracción plástica	Sika® Fiber	1 – 3 kg/m³
Requisitos de instalación y de curado	Un proceso de curado que empiece lo antes posible y que se mantenga durante un periodo de tiempo suficiente para que tenga una influencia significativa en la retracción plástica y por secado Productos de curado	Cuidado en la instalación y compactación Posterior curado para asegurar una alta calidad (compactación) en las superficies  Sika® Antisol®	

### Normas y publicaciones de referencia

- Aitcin, P.C et al, Integrated view of shrinkage deformation, Concrete International, September, 1997.
- Al-Manaseer, Akthem et al, conclusions of the ACI-RILEM Workshop on Creep and Shrinkage in Concrete Structures, ACI Concrete International, March, 1999.
- Helene, Paulo R.L, Carbonatación del Concreto y corrosión del acero de refuerzo. Asocreto, Memorias de la Reunión del Concreto, Cartagena, Septiembre 2000.
- Neville, Adams, Tecnología del concreto, IMCYC, México, 1984, Book 2.
- ACI 223 - Standard Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete

Para la prevención de las fisuras por retracción hay que tener en cuenta diversos factores, empezando por un diseño estructural adecuado, las especificaciones del hormigón y terminando por una práctica adecuada de construcción que incluya la instalación correcta del hormigón, compactación y un minucioso curado. La identificación de los distintos tipos de retracción del hormigón es el primer paso para actuar apropiadamente con respecto a la tecnología del hormigón. Los tipos de retracción del hormigón incluyen: retracción química, retracción plástica, retracción antigena, retracción por secado y retracción por carbonatación. Las más importantes y con mayor impacto son la retracción química, la plástica y la de secado.

En el caso de la retracción química, los productos de hidratación reforzados durante el proceso de hidratación ocupan un menor volumen que el volumen total de las materias primas de forma individual; lo que resulta en un descenso de las dimensiones del hormigón en general mientras el hormigón está todavía blando. Tras la colocación del hormigón, esta reducción del volumen produce pequeños poros y fisuras. Una medida efectiva es la recompactación del hormigón.

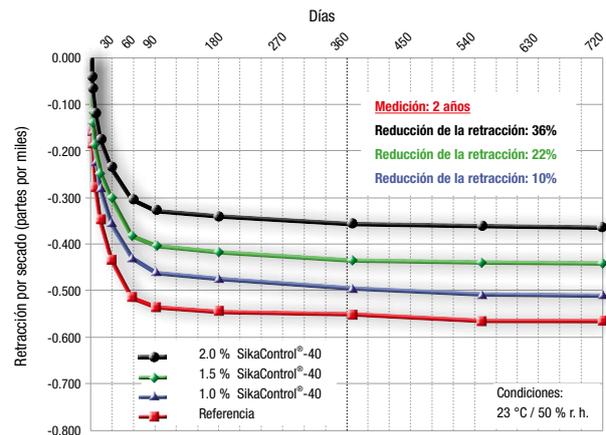
La retracción plástica muestra por sí misma una reducción del volumen causado por la evaporación del agua, lo que provoca la contracción del hormigón en todas las direcciones. La mayor parte de la retracción se produce al principio en el plano horizontal, sobre todo en la superficie que está en contacto con el aire. Este tipo de retracción es de las más comunes e importantes. Algunos factores que influyen son la humedad relativa, la temperatura y el viento. Cuanto más severas sean las condiciones de secado, mayores son los valores de retracción. La deformación por retracción se duplica cuando la velocidad del viento es de 1 m/s y es cinco veces superior cuando el viento sopla a 3 m/s. La retracción plástica puede controlarse con un curado inicial que empiece tan pronto como sea posible para evitar la entrada de agua en la mezcla del hormigón.

La retracción antigena es un cambio de volumen que ocurre tras la colocación inicial del hormigón debido a la hidratación, ya que este proceso requiere agua y, por ello, se reduce el agua interna. Tiene el mismo efecto que las fugas de agua causadas por evaporación en la superficie; el hormigón se retrae. Las mezclas de cemento que tengan una relación agua/cemento superior a 0,4 no se verán afectadas por este fenómeno. Este tipo de retracción adquiere gran importancia en los casos en los que se utiliza hormigón de resistencia alta con relaciones bajas de agua/cemento.

La retracción por secado en el hormigón endurecido está causada normalmente por la evaporación de agua en los capilares de la pasta de cemento hidratada. La pérdida de agua es un proceso progresivo que tiende a estabilizarse con el tiempo, dependiendo de las dimensiones del elemento estructural.



Cubrir inmediatamente o curar las superficies de hormigón que están expuestas a los elementos es el paso más importante para la protección de las mismas.



Comportamiento de la retracción en hormigones que contienen áridos reductores de la misma, mediciones a los dos años para completar la disminución de la retracción por el secado

Los factores de influencia principales son las dimensiones de los elementos de hormigón, la humedad ambiente relativa y la relación agua/cemento. Las posibles medidas incluyen una reducción del volumen de la pasta del cemento y la aplicación de áridos que reduzcan la retracción.



# Sika: Compañía Global en Especialidades Químicas para la Construcción y la Industria

- ▲ 5 continentes
- ▲ En más de 70 países
- ▲ 90 delegaciones para producción y comercialización
- ▲ 12.900 empleados.

Sika es una compañía multinacional Suiza líder en especialidades químicas. Nuestra presencia local en el mundo nos vincula directamente con clientes y asegura el éxito de Sika y sus colaboradores. La alta motivación de los empleados proporciona diariamente el mejor servicio al cliente.



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 del Producto concernido, copias de la cual se mandará a quién las solicite.

## **OFICINAS CENTRALES Y FÁBRICA**

**Madrid 28108 - Alcobendas**  
P.I. Alcobendas  
Carretera de Fuencarral, 72  
Tels.: 916 57 23 75  
Fax: 916 62 19 38

## **OFICINAS CENTRALES Y CENTRO LOGÍSTICO**

**Madrid 28108 - Alcobendas**  
P.I. Alcobendas  
C/ Aragoneses, 17  
Tels.: 916 57 23 75  
Fax: 916 62 19 38

**Pedidos - Tel.: 902 107 209 - Fax: 916 61 03 61**

**Asesoramiento Técnico Personalizado - Tel.: 902 105 107**

## **DELEGACIONES**

**Barcelona 08907**  
**L'Hospitalet de Llobregat**  
Travesía Industrial, 13  
Tel.: 932 61 85 60  
Fax: 932 63 52 14

**Vizcaya 48150 Sondika**  
P.I. Izarza  
Txori-Erri, 46. Pab. 3º D  
Tel.: 944 71 10 32  
Fax: 944 71 11 66

**Valencia 46930**  
**Quart de Poblet**  
P.I. Valencia 2000  
Ctra. N.III, Km 347 C/ Este 2 C  
Tel.: 961 53 41 77  
Fax Pedido: 961 52 16 37  
Fax Comercial: 961 52 57 60

**Málaga 29004**  
P.I. Guadalhorce  
E. Salazar Chapela, 16  
Cjto. Promisa - Nave 25  
Tel.: 952 24 38 60  
Fax: 952 23 74 58

**Sevilla 41928**  
Pol. Ind. del Limón  
C/ Manzana, 1, parcelas 4 y 5  
41928 Palomares del Río  
Apartado de Correos Nº 22  
Tel. 954 47 52 00  
Fax: 954 44 05 30

**Valladolid 47008**  
P.I. Argales  
C/ Metal, 9  
Tel. 983 45 62 48  
Fax: 983 22 18 61

**Pontevedra 36207 Vigo**  
Avda. de la Marina Española, 6  
Tel.: 986 37 12 27  
Fax: 986 27 20 56



[www.sika.es](http://www.sika.es)

[info@es.sika.com](mailto:info@es.sika.com)



**RESPONSIBLE CARE**  
El Compromiso de la Industria Química con el Desarrollo Sostenible

Diseño y producción en instalaciones de Alcobendas (Madrid)