

100 Años de Durabilidad Desde Sika® -1 a Sika® ViscoCrete®



Innovation & Consistency | since 1910

100 Años de Durabilidad desde Sika®-1 a Sika® ViscoCrete®





Fundada por Kaspar Winkler en 1910, la marca Sika hoy es reconocida por soluciones de impermeabilidad y durabilidad. Partiendo con aditivos para morteros, usados por primera vez en la impermeabilización del antiguo Túnel Ferroviario San Gotardo y extendiéndose a todos los sistemas de impermeabilización para un amplio número de aplicaciones, que también incluyen el actual Túnel Base San Gotardo, el túnel ferroviario de alta velocidad más largo en el mundo, los productos de Sika contribuyen al éxito de las construcciones. Sellar de modo durable contra la penetración del agua, a la vez que en otras instancias proteger los valiosos recursos hídricos y prevenir su filtración, dos lados de un desafío que presenta interfaces complejas.

El diseño de todo un edificio impermeable desde la fundación hasta la cubierta requiere el desarrollo de soluciones para el más amplio rango de aplicaciones, soluciones que puedan ser instaladas de modo práctico y proporcionen protección permanente. Para una estructura completa, esto significa el sellado de superficies tales como cubiertas, muros subterráneos o placas de la fundación. También significa asegurar la impermeabilidad de las juntas de trabajo y de las juntas con movimiento. Además, las soluciones de impermeabilización en las áreas visibles deben cumplir altos requerimientos estéticos.

Junto con el agua, las estructuras de los edificios están expuestas a un amplio rango de fuerzas y presiones sobre la superficie, partiendo con los esfuerzos mecánicos que resultan del tipo de construcción y extendiéndose a los distintos ataques externos. Las condiciones de temperatura, calor o frío extremo, agua u otros químicos, continuamente circulando, erosionando o aplicando tensiones en las superficies, o en casos extremos el impacto del fuego, pone muchísima tensión en las estructuras como un todo y en los materiales del edificio.

El hormigón, el material de construcción del siglo, juega un rol crucial en estas aplicaciones y requerimientos. En el mundo de hoy el uso del hormigón está omnipresente en la construcción, construir sin él es inimaginable. Apropriadamente formulado, fabricado industrialmente con materias primas adaptadas a los requerimientos, profesionalmente colocado y curado, el hormigón es un material de construcción durable. Es capaz de resistir de modo permanente todas las demandas solicitadas.

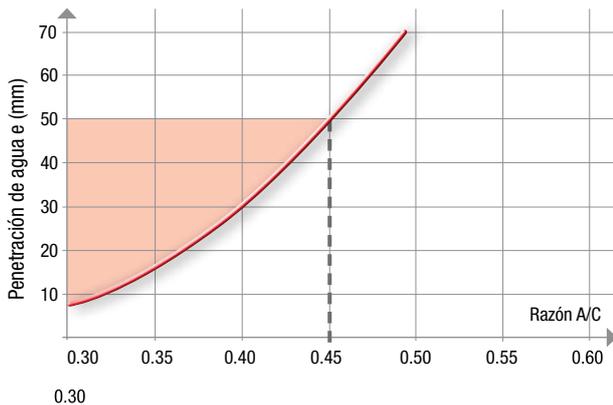
El hormigón ha moldeado el desarrollo sustentable de Sika, y desde 1910 Sika ha hecho una contribución notable al desarrollo del hormigón como un material durable de construcción.

Tabla de Contenidos

- Durabilidad y 100 años de Sika**
- Estructuras de Hormigón Impermeable**
- Hormigón Resistente a la Corrosión de Armaduras**
- Hormigón Resistente al Ciclo Hielo-Deshielo**
- Hormigón Resistente a Sulfatos**
- Hormigón Resistente al Fuego**
- Hormigón Resistente a la Reacción Álcali-Sílice**
- Hormigón Resistente a la Abrasión**
- Hormigón Resistente a Ataque Químico**
- Hormigón de Alta Resistencia**
- Hormigón de Retracción Controlada**

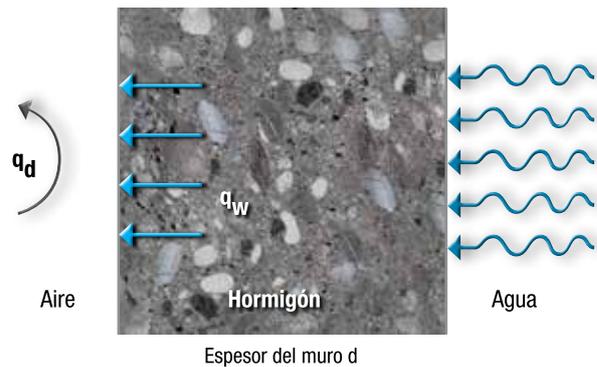
Estructuras de Hormigón Impermeables

El diseño y construcción de una estructura de hormigón impermeable se enfoca en el sistema. La impermeabilidad de una construcción se determina mediante el cumplimiento de requerimientos decisivos en relación con la limitación de la penetración del agua a través del hormigón, de las juntas, de las partes de instalación, así como de las grietas. Las construcciones impermeables de larga duración se logran con la aplicación de un sistema de ingeniería bien definido. Todas las partes involucradas tienen que interactuar estrechamente para minimizar la probabilidad de errores.



Penetración de agua bajo presión hidrostática.

El límite de permeabilidad del agua para la impermeabilización se define como una penetración máxima de agua en el hormigón bajo una presión específica en un período definido.



Inmersión y contacto de agua permanente.

El límite de permeabilidad del agua para la impermeabilización se define en $g/m^2 \times horas$, donde la permeabilidad del agua es menor que el volumen vaporizable del agua sin presión en un período de tiempo definido.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo
Áridos	Cualquier calidad de áridos posibles	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación
Adiciones en polvo	Puzolana, cenizas volantes o escoria granulada de horno alto	Contenido fino suficiente mediante el ajuste del contenido de aglomerante
Contenido de agua	Agua fresca y agua reciclada con requerimientos de contenidos de finos	Rango de agua / cemento de acuerdo con los estándares en relación con la exposición < 0.46
Aditivos para hormigón	Superplastificante Tipo dependiente de la colocación y de los requerimientos de resistencia inicial Impermeabilizante	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0.60 – 1.50%
		Sika®-1 ó Sika WT-100 1.50% -2%
Requerimientos de colocación	Compuesto de curado	Instalación y compactación cuidadosa. Curado siguiente para asegurar alta calidad (compactación) de las superficies Sika Antisol®
Sellado de juntas	Sellado de las juntas con movimiento, juntas de construcción y elementos pasantes	Sika®-Waterbars Sikadur®-Combiflex® Sika® Injectoflex-System SikaSwell®
Sistemas de impermeabilización	Sistemas de membrana impermeable flexible, si se requiere con compartimiento simple o doble	Sikaplan®

Estándares referenciales, publicaciones

- 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
- Cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos (USACE) CRD- C48-73 "Permeabilidad del hormigón"
- Estándares británicos BS 1881 Parte 122

La impermeabilidad del hormigón contra el agua se determina mediante la impermeabilidad de la matriz del aglomerante; es decir, porosidad capilar. Los factores decisivos de la porosidad capilar son la razón agua / aglomerante así como el contenido y tipo de materiales hidráulicos activos o puzolánicos. Un poderoso superplastificante se usa para bajar la razón agua / aglomerante. Este a su vez, disminuye el volumen de los poros capilares dentro de la matriz del hormigón, a la vez que permite una mayor trabajabilidad del mismo. Estos poros son pasos migratorios potenciales para el agua a través del hormigón. La elección del superplastificante para ayudar en la colocación del hormigón es importante para el contratista en terreno. Temas tales como la alta trabajabilidad, la retención de la trabajabilidad, alta resistencia inicial y buena terminación de superficies pueden ser factores que influyen. Un segundo aditivo reacciona con los iones de calcio en la pasta de cemento para producir una capa hidrófoba dentro de los poros capilares. Por lo tanto, esto bloquea los poros y proporciona una protección efectiva aún a 10 bar (100 metros de presión de agua). A la llegada a terreno el hormigón puede ser bombeado o manejado en los modos convencionales. El hormigón debe ser ubicado, compactado y curado de acuerdo con las buenas prácticas de hormigonado.

El sistema correcto para las juntas (juntas con movimiento, juntas de construcción) es la clave para lograr una estructura impermeable. Las secuencias del vertido del hormigón y los tamaños de los elementos deben ser considerados para reducir el riesgo de grietas por retracción. Como guía, una relación que no exceda 3:1 se sugiere para el vaciado de muros en particular. Esto significa que las juntas de construcción serán inevitablemente requeridas dentro de la estructura.

Por una parte, el diseño correcto de cualquier junta es esencial. Por otra parte, la instalación apropiada y cuidadosa del sistema de sellado de juntas es decisiva para lograr la impermeabilidad de las construcciones. Si el hormigón impermeable tiene filtraciones, habitualmente se debe al mal sellado de las juntas. Además deben considerarse otros detalles como el sellado de agujeros de barras de acoplamiento y elementos pasantes. Dependiendo del nivel de protección contra el agua, por ejemplo presión de agua exterior así como la intención de uso de la construcción, existen distintos tipos de sistemas de sellado de juntas. Las juntas sin movimiento normalmente se sellan usando perfiles hidrófilos los que vienen en distintas formas y tamaños y expanden en contacto con el agua. Los perfiles normalmente tienen un recubrimiento protector para reducir el riesgo de expansión prematura, por ejemplo, si hubiera lluvia previa al vaciado del hormigón.

Cuando una estructura requiere un mayor nivel de protección, están disponibles sistemas de sellado de juntas más avanzados los que ofrecen una combinación de elementos hidrófilos integrados a una

manguera de inyección de resina. Esto proporciona una excelente línea de defensa secundaria.

Cuando sean necesarias juntas con movimiento, éstas se pueden sellar usando cintas elásticas que se aseguran de modo interno o externo usando adhesivos epóxicos especiales, o cintas de PVC tradicionales.



Impermeabilidad del hormigón al agua bajo presión, mide la penetración máxima de agua en mm después de un periodo definido con una presión especificada (24 horas con 4 bar, de acuerdo con EN12390-8)



Sika Waterbars son cintas impermeables de PVC preformadas para la impermeabilización de las juntas con movimiento y de construcción, las que pueden estar sujetas a altas y bajas presiones de agua.



Hormigón resistente a la corrosión de armaduras

El hormigón es un ingenioso material de construcción, también porque en combinación con acero de refuerzo muestra una enorme capacidad de soporte de carga. La combinación de acero en el hormigón tiene la ventaja que, bajo condiciones normales, el alto valor del pH del hormigón crea una capa de pasivación de hidróxidos de hierro en la superficie del acero que lo protege de la corrosión. Particularmente el acero, sin embargo, puede comprometer su durabilidad de comportamiento debido a la presencia de humedad y de sales. Los proyectos en lugares costeros o en áreas donde se usan agentes de descongelamiento deben estar permanentemente protegidos contra las consecuencias de la corrosión del acero.



Daño a la estructura del hormigón debido a insuficiente recubrimiento y baja calidad del hormigón.



Escala de color



Medición de potencial de corrosión de un muro de contención junto a un camino de alto tráfico con alto uso de sales de descongelamiento, después de menos de 10 años de exposición. Mientras más oscura la coloración, mayor el potencial de corrosión.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo
Áridos	Cualquier calidad de áridos posibles	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación.
Aditivos en polvo	Cenizas volantes o escoria granulada de horno alto, polvo de sílice, puzolanas naturales	
Contenido de agua	Agua fresca y agua reciclada con requerimientos de contenidos finos	Razón de agua / cemento de acuerdo con los estándares en relación con la exposición < 0.46
Aditivos para hormigón	Súper plastificante Tipo dependiente de la colocación y de los requerimientos de resistencia inicial Inhibido de corrosión	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0.60 – 1.50% Sika® INC Sika® FerroGard®-901 13 – 40 kg/m³ 10 – 12 kg/m³
Requerimientos de colocación	Compuesto de curado	Instalación y compactación cuidadosa. Curado siguiente para asegurar alta calidad (compactación) de las superficies SikaCure®
Sistema de protección	Protección de la superficie contra el ingreso de cloruros y de CO ₂	Sika ofrece un amplio rango de soluciones rígidas y flexibles para prevenir la penetración del agua. Solución Sika: Sikagard®

Normas de referencia, publicaciones

- ASTM C1222 – Método de Prueba Estándar para Indicación Eléctrica de la Capacidad del Hormigón para resistir la Penetración de Iones de Cloruro
- ACI 222 – Protección de Metales Contra la Corrosión en Hormigón
- ASTM C1582 / C1582M – Especificación Estándar para Aditivos para Inhibir la Corrosión Inducida por Cloruros en el Acero de Refuerzo en el Hormigón
- “Costos de Corrosión y Estrategias Preventivas en los Estados Unidos” Publicación N° FHWA-RD-01-156, autores 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



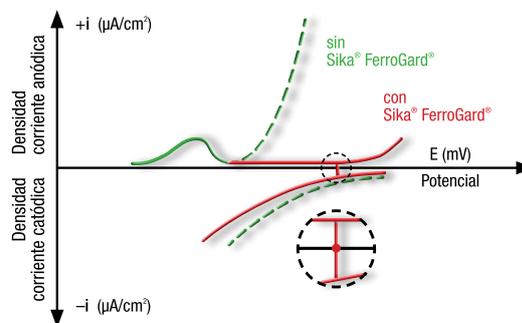
Las prácticas normales de construcción aseguran que la corrosión de las armaduras de acero es limitada. Estas prácticas incluyen la observación de una calidad mínima de hormigón (razón agua / aglomerante, contenido de cemento, resistencia mínima) y un espesor mínimo de hormigón de recubrimiento de las barras de refuerzo. Sin embargo, en muchos casos, especialmente en ambientes con altos niveles de cloruros (sales de descongelamiento, agua salada o incluso componentes del hormigón contaminados), estos procedimientos de protección básica son insuficientes. Por ejemplo, entre 583.000 puentes en Estados Unidos, las estimaciones indican que aproximadamente el 15% de dichos puentes están estructuralmente deficientes debido a la corrosión del acero de las armaduras.

Para prevenir la corrosión o demorar su inicio y por ende para extender la vida de una estructura, se pueden realizar tres pasos adicionales para proteger el acero de la corrosión: Aumentar la calidad del hormigón, utilizar inhibidores de corrosión y la aplicación de cubiertas protectoras. Aumentar la calidad del hormigón significa la reducción del número y tamaño de los poros capilares. Este aumenta la densidad en la matriz del hormigón y como resultado dificulta el transporte de cloruros o de CO₂ dentro del hormigón. La reducción de la relación agua / cemento mediante la aplicación de altos reductores de agua o el uso de materiales de cemento complementarios como la ceniza volante o el polvo de sílice o puzolanas naturales, representan oportunidades en la tecnología del hormigón para mejorar el diseño de la mezcla.

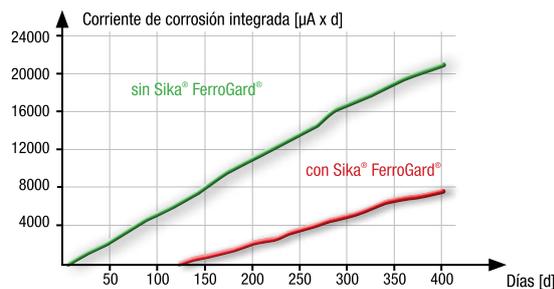
Cuando se escoja una calidad de hormigón mejorado para proteger contra la corrosión se debe dar especial atención a la colocación apropiada, al curado del hormigón y al potencial de retracción de la mezcla del hormigón, dado que pequeñas grietas pueden permitir que los cloruros o el CO₂ penetren en el acero de las armaduras, independiente de la compacidad de la mezcla de hormigón.

Los inhibidores de corrosión se agregan a la mezcla del hormigón junto con el agua de amasado. Los inhibidores no influyen significativamente en la densidad del hormigón o impactan en el ingreso de cloruros o CO₂, pero actúan directamente en el proceso de corrosión. Los inhibidores de corrosión se definen en un número de formas. Por una parte, como un aditivo que puede extender el tiempo antes de que se inicie la corrosión, o como uno que reduce la velocidad de corrosión del acero embebido, o ambos, en el hormigón conteniendo cloruros.

Otra definición indica que un inhibidor de corrosión debe reducir la velocidad de corrosión y el área corroída de las barras de acero embebidas en el hormigón.



Acero en el hormigón que contiene cloruro, con y sin Sika® FerroGard®. Los cloruros se desplazan a la superficie de acero con Sika® FerroGard®. Se forma una capa protectora que mueve el potencial de corrosión y reduce la densidad de corriente a un nivel muy bajo.



El Departamento de Investigación de Sika en Zúrich probó el efecto anticorrosivo de Sika® FerroGard® en vigas de hormigón agrietadas. Las muestras fueron producidas de acuerdo con ASTM G 109 y fueron tratadas cíclicamente con sales para caminos. La medición periódica de la corriente de corrosión confirma el efecto protector de Sika® FerroGard®.

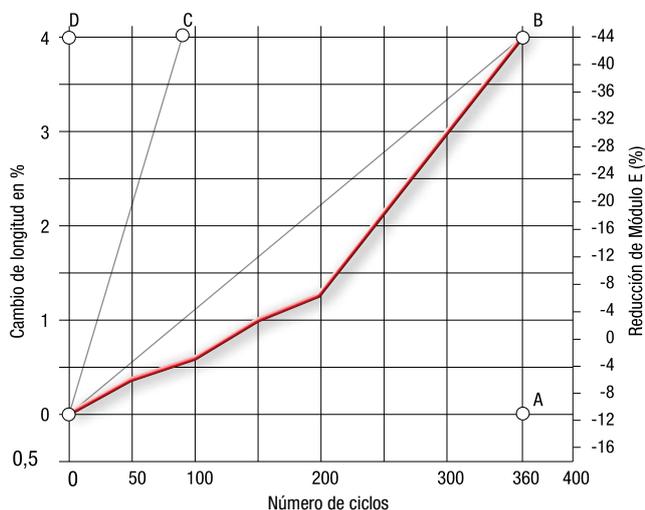
Los productos principales que se usan como inhibidores de corrosión son productos basados en nitrito de calcio o inhibidores de corrosión orgánicos de amino ester.

Los revestimientos protectores se usan para reducir el ingreso de cloruros o de dióxido de carbono. Los revestimientos pueden ser aplicados de acuerdo con dos opciones básicas: a la superficie del hormigón o a las barras de las armaduras de acero antes de que queden embebidas en el hormigón.



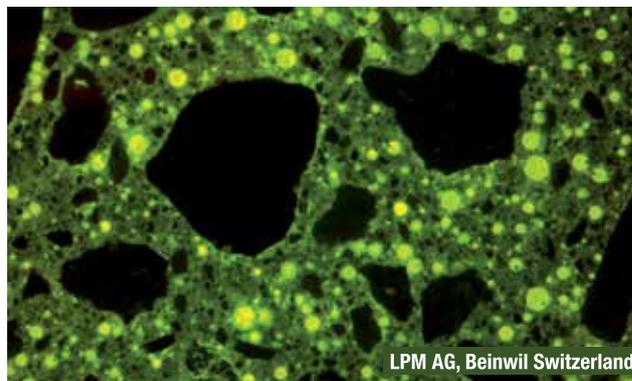
Hormigón Resistente al ciclo Hielo - Deshielo

Las sales de descongelamiento atacan las superficies del hormigón, siendo una de las acciones más dañinas a las estructuras de hormigón que se ha desestimado por décadas pese a las cantidades extremas de sales de descongelamiento que se aplican periódicamente. Mediante una técnica estructural apropiada y la observación de medidas tecnológicas básicas pertinente al hormigón, el material de construcción puede demostrar de modo permanente la alta resistencia al congelamiento y a la acción que representan las sales de descongelamiento.



Rango de resistencia AOB = alta (WF-L > 80 %) BOC = media (WF-L = 80-25 %) COD = baja (WF-L < 25 %)

Valor: Alto WF-L = 94 %



Vacíos de aire artificialmente introducidos, originados por un aditivo incorporador de aire, generan espacios para la expansión en la estructura de hormigón, permitiendo el aumento de volumen de un 10% aprox. que ocurre cuando el agua se congela. En la prueba BE II de acuerdo con D-R 400, la probeta de ensayo está sujeta a cargas cíclicas entre +20°C y -20°C, el cambio en la longitud se mide y clasifica entre los tres rangos de durabilidad (bajo / medio / alto). El cálculo se realiza de acuerdo con ASTM C666.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo
Áridos	Los áridos empleados deben ser resistentes al congelamiento	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación.
Adiciones en polvo	Para mayor compacidad	Sikafume® Hasta un máximo de 4%
Contenido de agua	Agua limpia, libre de finos	Rango de agua / cemento de acuerdo con los estándares en relación con la exposición < 0,46
Aditivos para hormigón	Superplastificante La dosificación depende de la fórmula (superplastificante e incorporador de aire deben ser adaptados entre ellos)	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0.60 – 1.50%
	Incorporador de aire (tiempo de mezclado de aprox. 90 segundos). La cantidad requerida de aire incorporado es altamente dependiente del cemento y de la porción de finos en la arena	Dosis de SikaAer®: Contenido de vacío de aire con: - diámetro máx. de partículas 32 mm aprox. 3.0 – 5.0% - diámetro máx. de partículas 16 mm aprox. 4.0 – 6.0%
Requerimientos de colocación	El hormigón resistente al congelamiento sólo debe ser transportado en camiones mezcladores y debe ser mezclado nuevamente (aprox. 30 seg/m3) antes de la descarga. Luego se debe realizar la medición de vacíos de aire. Compuesto de curado	Instalación y compactación cuidadosa. Curado siguiente para asegurar alta calidad (compactación) de las superficies SikaCure®

Normas de referencia, publicaciones

- Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) 2004
- ACI 306R – Hormigón para Climas Fríos
- ACI 201.2R – Guía de Hormigón Durable, Capítulo 4 – Congelamiento y Descongelamiento de Hormigón
- ASTM C457 – Método de Prueba Estándar para la Determinación Microscópica de Parámetros del Sistema de Vacío de Aire en el Hormigón Endurecido
- ASTM C666 / C666M – Método de Prueba Estándar para la Resistencia del Hormigón para el Rápido Congelamiento y Descongelamiento.

Especialmente en caminos y carreteras, pero también en estructuras expuestas a rociaduras y lloviznas, tales como muros de contención, pasarelas, puentes, portales de túneles, así como en los mismos edificios, las temperaturas muy frías imponen una alta sollicitación a la estructura de hormigón debido al congelamiento del agua.

A través de su superficie, el agua penetra hacia el interior del hormigón como resultado de la acción de capilaridad. Si el agua se congela, ésta aumenta su volumen en la formación de hielo en aproximadamente 10%. Esto significa que se desarrolla una alta presión en los poros llenos de aire. Dependiendo de las propiedades mecánicas del hormigón (transferencia de las fuerzas de tracción), esta presión puede resultar en cambios mínimos en el volumen o en grietas finas en la microestructura del hormigón. Una ocurrencia aislada de dicha presión puede ser considerada insignificante, pero las fluctuaciones de temperatura a lo largo de una estación fría y en un número extendido de años hace que la repitencia sea considerable. Las pequeñas fisuras pueden de este modo llevar a que la superficie se descame, mientras que la zona de ataque avanza hacia el interior del hormigón hasta alcanzar y afectar las armaduras de refuerzo.

Los agentes descongela se emplean a menudo para prevenir la formación de hielo en las superficies de las aceras o caminos. Estos agentes realizan un rápido descongelamiento del hielo en la superficie del hormigón, un proceso que extrae calor considerable desde el hormigón dentro de un corto período. Esto significa que en las áreas del hormigón cerca de la superficie, la temperatura cambie en más de 10°C dentro de 1-2 minutos. El uso de agentes descongela resulta aún en mayor tensión cuando el agua se congela.

Desde el punto de vista de la tecnología del hormigón, esta tensión puede ser enfrentada con dos medidas primarias, a pesar de que cada una de ellas es insuficiente. Por una parte, el contenido de agua del hormigón de alta resistencia al congelamiento debe mantenerse tan baja como sea posible. Esto reduce fuertemente la cantidad de agua libre en la estructura de hormigón. Además, al agua residual siempre presente en el hormigón debe proporcionársele espacio para su expansión, de modo que cuando el volumen crezca debido al congelamiento, éste pueda ser absorbido sin generar tensiones internas. Estos vacíos artificialmente introducidos, creados durante el proceso de fabricación del hormigón con aditivo incorporador de aire, deben ser tan finos, cerrados y esféricos como sea posible, con un tamaño de 0.02 – 0.3 mm de diámetro. Los vacíos de un tamaño fuera de este rango no contribuyen a la resistencia al congelamiento del hormigón. La cantidad de vacíos introducidos, medidos mediante la prueba de medición de presión de aire, es dependiente de la cantidad de la pasta de cemento (15-20% del volumen de la pasta de cemento) y comprende en relación con el hormigón un 4 a 6% del volumen, medido antes de la colocación.

Un método ampliamente utilizado de ensayo de resistencia al congelamiento y sales de descongelamiento del hormigón consiste en sucesivos congelamientos y descongelamientos en un baño de agua, con medidas de la diferencia en peso antes y después de la prueba.



Superficie prácticamente sin Superficie con daño muy severo.



El esparcido de agente descongela intensifica la reacción frente al congelamiento del agua y lleva a un daño sustancialmente mayor en la superficie del hormigón.

Un método ampliamente utilizado de ensayo de resistencia al congelamiento y sales de descongelamiento del hormigón consiste en sucesivos congelamientos y descongelamientos en un baño de agua, con medidas de la diferencia en peso antes y después de la prueba.



Hormigón resistente al sulfato

Particularmente en construcciones subterráneas, las estructuras de hormigón están expuestas, junto con las cargas y desgaste debido al uso, a las influencias emergentes del terreno, tales como las aguas agresivas. Sin embargo, el hormigón se caracteriza por su notoria durabilidad. Soluciones conteniendo sulfatos, tales como en aguas subterráneas naturales o contaminadas, representan un considerable impacto de deterioro en el hormigón. Esto eventualmente puede llevar a la pérdida de resistencia, expansión, descamado de la superficie y finalmente a la desintegración.



Deterioro del hormigón debido al ataque de sulfatos antes y después del ensayo. Se muestra un fuerte aumento en la longitud. Las primeras grietas han aparecido en la muestra.



Inmediatamente después del curado a vapor, la superficie de hormigón de los segmentos para revestimiento de túneles se cubre con una emulsión epóxica de base acuosa, que se absorbe incluso por los poros más pequeños generando una capa protectora de sellado.

Diseño de la mezcla y medidas recomendadas

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo	
Áridos	Cualquier calidad de árido es posible	Todos los tamaños de áridos son posibles	
Cemento	Cumple con EN 206 con moderada resistencia a los sulfatos ASTM C-150 cementos resistentes a los sulfatos	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación.	
Adiciones en polvo	Cenizas volantes o escoria granulada de horno alto, polvo de sílice, puzolanas naturales	Sikafume®	4.0 – 8.0%
Contenido de agua	Cumple con EN206 dependiendo de la clase de exposición	Razón agua / cemento XA1 XA2 XA3	< 0.55 < 0.50 < 0.45
	Cumple con ASTM dependiendo de la clase de exposición	Moderado tipo 2 Severo tipo 5 Muy severo tipo 5	< 0.50 < 0.45 < 0.40
Aditivos para hormigón	Súper plastificante El tipo depende de la colocación y de los requerimientos de resistencia inicial	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.60 – 1.50%
Requerimientos de instalación	Compuesto de curado	Instalación y compactación cuidadosa. Curado siguiente para asegurar alta calidad (compactación) de las superficies SikaCure®	
Sistema de protección / Sistema especial de curado	La resistencia del hormigón a los químicos es altamente limitada. El recubrimiento apropiado puede proteger la superficie del hormigón contra la exposición	Curado especial de los segmentos del túnel inmediatamente antes de desmoldar con Sikagard®	

Normas de referencia, publicaciones

- 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 Guía para el Hormigón Durable, Capítulo 6 – Ataque Químico
- ASTM C452 – Método de Prueba Estándar para Expansión Potencial de Morteros de Cemento Portland Expuestos a Sulfatos
- ASTM C 1012 – Método de Prueba Estándar para el Cambio de Longitud de Morteros de Cemento Hidráulico Expuestos a una Solución de Sulfato

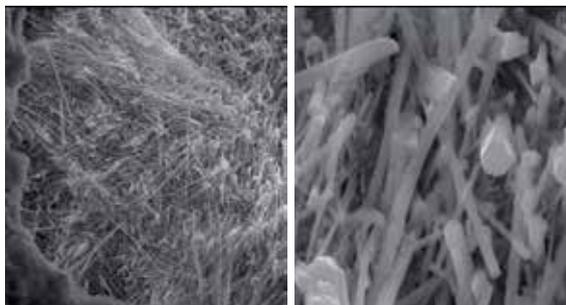
El ciclo de vida de una estructura de hormigón se asegura mediante un apropiado diseño de mezcla que se adapta a la exposición esperada de distintos impactos. El sulfato contenido en el agua reacciona con el aluminato tricálcico (C3A) en el cemento para formar etringita (también taumasita bajo ciertas condiciones), lo que lleva a un aumento de volumen. Este aumento de volumen resulta en alta presión interna en la estructura de hormigón la que induce a grietas y descamado. Tal ataque se clasifica dentro de los ataques químicos bajo el cual el hormigón estándar diseñado sin las medidas dedicadas puede experimentar daños significativos. La experiencia de campo demuestra que la pérdida de adherencia y de resistencia normalmente es más severa que el daño al hormigón resultante de la expansión y agrietamiento.

La resistencia del hormigón a sulfatos se determina mediante la resistencia al sulfato de la matriz de cemento así como su capacidad para soportar la difusión de los iones de sulfato a través de la matriz. El hormigón resistente al sulfato debe por lo tanto caracterizarse por su alta impermeabilidad así como por su resistencia mecánica. Además, se deben usar cementos con bajo contenido de C3A y Al₂O₃. De este modo se reduce el potencial de reacciones de deterioro. Además la inclusión de microsílíce es favorable porque contribuye a una mayor densidad de la matriz del cemento junto con una adherencia mejorada entre la matriz del cemento y los áridos, y de este modo lleva a una mayor resistencia a compresión.

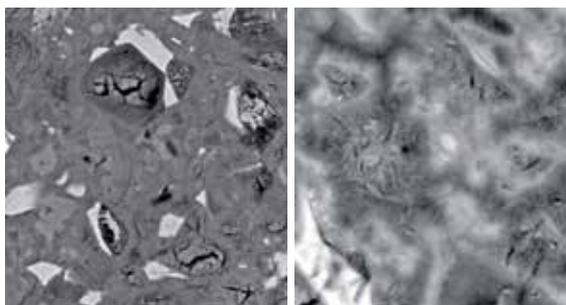
El ataque de sulfatos se clasifica según la clase de exposición del ataque químico de acuerdo con EN 206-1. Por lo tanto, la clase de exposición se determina mediante el contenido de sulfato esperado en el agua que tiene contacto con el hormigón. Dependiendo de la clase de exposición, se requiere de un contenido mínimo de cemento en combinación con una razón agua / cemento máxima, así como un uso obligatorio de cemento de alta resistencia al sulfato.

En túneles, la durabilidad es de importancia decisiva y el ataque de sulfatos es un fenómeno de constante ocurrencia y desafío. Este es especialmente cierto en el caso de la producción de segmentos prefabricados para revestimiento de túneles con TBM y en el soporte de roca con hormigón proyectado. En excavaciones en las cuales se prevé un alto ataque de sulfatos, es difícil cumplir con todos los requerimientos técnicos a menos que se tomen las medidas apropiadas en relación con el diseño de la mezcla de hormigón. Para hormigón proyectado, el uso de aditivos aceleradores libre de álcalis es obligatorio para lograr la adecuada resistencia al sulfato.

La producción industrializada y rápida de segmentos de revestimiento para túneles requiere de ciclos de producción de sólo unas pocas horas,



Forma clásica del ataque de sulfatos asociada con formación de etringita o yeso. Etringita formada en la pasta de cemento sujeta a soluciones de sulfato externas.



Núcleos de etringita formados en pasta de cemento endurecido. La fotografía de la derecha es una pasta de 2 años sujeta al ataque de sulfatos. Se observan los núcleos de etringita formados dentro del C-S-H.

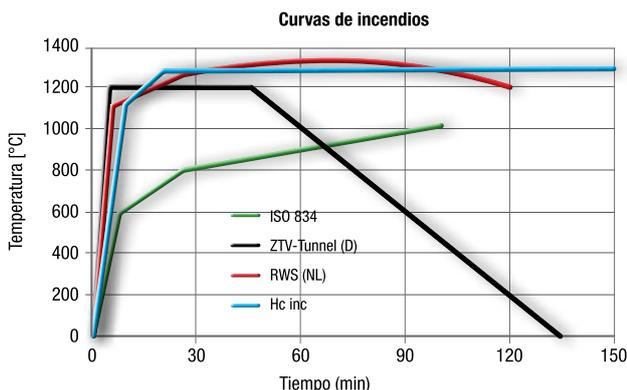
con un desarrollo de temperatura máxima de 60°C en el hormigón.

Esto es muy difícil con los cementos convencionales resistentes al sulfato, debido al hecho de que estos cementos muestran un lento desarrollo de resistencia. Una mezcla de hormigón que contenga microsílíce y un superplastificante cumple ambos criterios, productividad y resistencia a los sulfatos, pero este sistema es muy sensible a un curado apropiado para evitar la formación de fisuras. Con la aplicación de una emulsión epóxica en base acuosa inmediatamente después del desmolde se puede producir segmentos de hormigón libre de fisuras.



Hormigón resistente al fuego

El riesgo de incendios está presente siempre y en todo lugar. El daño inminente depende de la exposición real y naturalmente difiere si la construcción amenazada es un paso subterráneo para peatones, un túnel de carretera o un garaje subterráneo en un rascacielos. El hormigón es el material que resiste las cargas en casi todas las estructuras de construcción y por lo tanto está expuesto a alto riesgo, dado que toda la estructura podría colapsar si el material falla. Por lo tanto, el hormigón, independiente del escenario de peligro, debe estar apropiadamente formulado o protegido mediante medidas externas, para evitar la falla a altas temperaturas en caso de incendios.



Todas estas curvas de exposición a incendios simulan el perfil de temperatura de un incendio en un túnel. El ejemplo de la curva RWS indica la exposición máxima que se puede esperar en el peor escenario definido como un incendio de un camión estanco, con una capacidad de carga de 50 m3 que está lleno al 90% con combustible de hidrocarburo líquido (petróleo).



En hornos con cámaras especiales se puede replicar la trayectoria de un incendio ensayando y evaluando paneles. El desarrollo de la temperatura se mide a distintas profundidades.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo	
Áridos	Los áridos del tipo carbonato – caliza, dolomita, roca de cal, tienden a comportarse mejor en un incendio porque se calcinan Los tipos que contienen sílice se comportan menos bien	Todos los tamaños de áridos son posibles	
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación	
Contenido de agua	Agua fresca y reciclada con los requerimientos en relación con contenidos de finos	Razón de agua / cemento de acuerdo con los estándares de exposición	< 0,48
Aditivos para hormigón	Súper plastificante Tipo depende de la colocación y requerimientos de resistencia inicial	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.60 – 1.20%
	Fibras poliméricas o polipropileno monofilamento	Sika® Fibers	2.0 – 3.0 kg/m³
Requerimientos de colocación		Colocación y compactación cuidadosa. Curado subsecuente para asegurar alta calidad (compacidad) de las superficies	
Protección pasiva del hormigón	Morteros livianos aplicados mediante proyección	Sikacrete®-F	25 – 40 mm

Normas de referencia, publicaciones

- ZTV-ING Teil 5: Tunnelbau
- ACI 216 – Código de Requerimientos para la Determinación de Resistencia a Incendios de Montajes de Construcción de Hormigón y Mampostería
- ASTM E119 – Métodos de Pruebas Estándares para Pruebas de Incendios de Construcción y Materiales de Edificios
- ÖVBB Merkblatt, Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke, 2006
- VDV-Fördenkreis, Protección contra Incendios en vehículos y túneles para el transporte público, 2005.

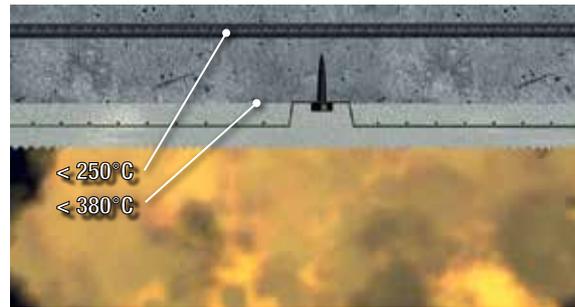
El hormigón es un material de construcción fabricado con componentes no combustibles, tales como cemento, áridos y agua. La conductividad térmica del hormigón es de aproximadamente 1.5 a 3.0 W/m°C, haciéndolo apropiado como un escudo protector contra incendios, para soportar los efectos del calor directo antes de que el acero subyacente se ablande hasta el punto del potencial colapso estructural. La resistencia al fuego se define como la capacidad de una estructura para cumplir sus funciones requeridas (función de soporte de carga y/o función separadora) para una exposición específica a incendios y en un periodo especificado (integridad). La resistencia al fuego se aplica a los elementos del edificio y no al material mismo, pero las propiedades de los materiales afectan el rendimiento de los elementos de los cuales forma parte (Euro código 2). Los modelos de tiempo versus temperatura relacionan el tipo de combustible que se consume, el volumen de combustible, los efectos de ventilación y la ubicación del incendio. En la mayoría de los casos, la temperatura del incendio aumenta rápidamente en minutos, llevando en un inicio a desprendimientos explosivos dado que la humedad inherente en el hormigón se convierte en vapor y se expande. El escenario de incendio más grave es la curva de incendio RWS de Holanda y representa un incendio muy grande de hidrocarburo dentro de un túnel.

Existen distintas opciones disponibles para mejorar la resistencia del hormigón al fuego. La mayoría de los hormigones contiene cemento Portland o Portland con adiciones, que empieza a degradarse sobre los 300°C y comienza a perder su comportamiento estructural sobre los 600°C. Por supuesto, la profundidad de la zona de hormigón debilitada puede variar desde unos pocos milímetros hasta muchos centímetros dependiendo de la duración del incendio y de las temperaturas más altas experimentadas. El cemento con alto contenido de alúmina, usado para proteger los recubrimientos refractarios alcanzando temperaturas de 1600°C, tiene el mejor desempeño posible en un incendio y proporciona excelente comportamiento sobre los 1000°C.

La elección del árido influirá en la sollicitación térmica que se desarrolla durante el calentamiento de una estructura de hormigón. Los áridos del tipo carbonato, tales como caliza o dolomita tienden a desempeñarse mejor en un incendio dado que se calcinan cuando se calientan, liberando CO₂. Este proceso requiere calor, de modo que la reacción absorbe parte de la energía exotérmica del incendio. Los áridos que contienen sílice tienden a comportarse menos bien en un incendio. Finalmente, como el desempeño al calor se relaciona con la conductividad térmica del hormigón, el uso de áridos livianos puede, bajo ciertas condiciones, mejorar la resistencia del hormigón al fuego.



Ensayos de exposición al fuego de hormigones que tienen distintos áridos. La superficie se desprende y sinteriza, por lo que se puede comparar un rango de desarrollo de temperatura a distintas profundidades.



Si un voladizo requiere protección, se recomienda el uso de un refuerzo con malla de alambre.

Las fibras de polipropileno o de polímeros pueden contribuir significativamente a la reducción de los desprendimientos explosivos y por lo tanto mejorar la resistencia a incendios del hormigón. En un incendio, estas fibras se derriten a alrededor de 160°C, creando canales que permite que el vapor de agua resultante escape, minimizando las presiones en los poros y el riesgo de desprendimiento.

Bajo condiciones en las cuales el riesgo de colapso estructural es inaceptable, los diseñadores examinan otras formas de protección del hormigón frente a los efectos de un incendio. El rango de alternativas va desde el espesor local del hormigón, revestimiento exterior usando pintura intumescente, sistemas de paneles protectores y morteros livianos aplicados por proyección. El propósito de estos sistemas pasivos de protección contra incendios depende del tipo de construcción así como de la forma a proteger.

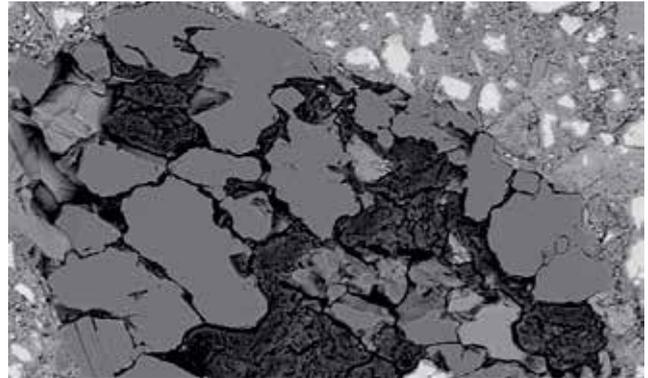


Hormigón Resistente a la Reacción Alkali – Sílice (RAS)

Los áridos constituyen la mayor parte del hormigón. Su influencia en el hormigón fresco y endurecido es considerable. Para ahorrar costos y energía, los productores de hormigón tienen como objetivo el uso de las fuentes de áridos más próximas. Las fuentes de áridos de alta calidad están gradualmente disminuyendo en número, por lo tanto, la industria de edificios y materiales de construcción y los constructores de grandes proyectos de infraestructura buscan soluciones para el uso de áridos de menor calidad. La Reacción Alkali - Sílice (RAS), que puede ocurrir con los áridos, presenta un particular desafío y puede afectar la durabilidad del hormigón.



El daño normalmente es visible después de décadas. Por lo tanto es necesaria la clarificación precisa del riesgo para estimar el potencial de los áridos para el daño por RAS.



Las zonas amorfas de sílice dentro del árido han reaccionado con los iones de álcalis y han formado un gel que se expande cuando ingresa el agua. El árido se ha hinchado y fisurado mientras la región amorfa (masa negra fisurada) se ha expandido.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo
Áridos	El potencial RAS de los áridos debe ser determinado previamente	Todos los tamaños de áridos son posibles
Cemento	Preferiblemente cemento con escoria granulada de alto horno, puzolana o cenizas volantes	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación.
Adiciones en polvo	Microsílice, ceniza volante o escoria granulada de alto horno	Sikafume® 3.0% – 6.0%
Contenido de agua	Mezcla de agua limpia, libre de finos	Razón agua / cemento de acuerdo con los estándares de exposición < 0.48
Aditivos para hormigón	Súper plastificante El tipo depende de la colocación y requerimientos de resistencia inicial	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament® 0.60% – 1.20%
	Mezclas especiales limitando RAS	SikaControl®-RAS 2.0 – 10.0 kg/m³
	Acelerador shotcrete en caso de shotcrete	Sigunit®-AF 3.0% – 8.0%
Requerimientos de colocación	Compuesto de curado	Colocación y compactación cuidadosa. Curado siguiente para asegurar alta calidad (compacidad) de las superficies SikaCure®
Sistema de protección	Aparte de álcalis libres y áridos reactivos, el hormigón debe contener humedad para que ocurra RAS. Si una estructura está expuesta al agua, la superficie del hormigón debe ser protegida.	Sika ofrece un amplio rango de soluciones rígidas y flexibles para prevenir la penetración del agua. Solución Sika: Sikagard®, SikaPlan®

Normas de referencia, publicaciones

- ASTM C1260 – Método de prueba estándar para la reactividad potencial a álcalis de los áridos (mortero – método de barra), ASTM Estándares en Códigos de Construcción 681-85
- ASTM C1293 – Método de prueba estándar de áridos de hormigón para la determinación del cambio de longitud debido a álcali – sílice, ASTM Estándares en Códigos de Construcción 686-691
- AFNOR P18-594 (2004) Granulats: Méthodes d'essais de réactivité aux alcalis, Association Française de Normalisation, Paris, Francia
- 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, Francia.

Los grandes proyectos de infraestructura, tales como represas, carreteras o aeropuertos requieren enormes cantidades de áridos, los que se buscan en las cercanías de los sitios en construcción. Algunos áridos pueden mostrar un riesgo grande de RAS. La Reacción Álcali Sílice es una reacción química que ocurre entre la sílice amorfa del árido y los álcalis de la matriz del cemento. La reacción resulta en un aumento del volumen del hormigón, provocando agrietamiento y desprendimiento cuando se generan fuerzas que exceden la resistencia a la tracción del hormigón. Las condiciones esenciales para la ocurrencia de la RAS son la humedad dentro del hormigón, un alto contenido de álcalis y áridos reactivos. El diseño correcto de la mezcla de hormigón es crítica para evitar la RAS. La selección de las soluciones correctas pueden prevenir los daños resultantes de RAS aunque se usen áridos altamente reactivos.

El clinker del cemento contribuye con la mayor proporción de material alcalino. Mientras más alto sea el contenido de cemento, mayor será la alcalinidad de la mezcla. El cemento con adiciones introduce un menor contenido de álcalis. Una baja razón agua / cemento se considera como el factor central para el logro de un hormigón denso e impermeable. El hormigón denso demora la difusión de los álcalis libres y la migración del agua hacia el árido. Para que la RAS ocurra, requiere que los áridos sean particularmente sensibles a los álcalis, tales como los silico calcáreos, gneis y cuarcita. Los áridos porosos, agrietados o erosionados son más reactivos que aquellos con una estructura densa y superficies redondeadas. Las adiciones puzolánicas tales como ceniza volante, escoria granulada de horno alto o microsílíce reaccionan y consume iones hidroxilos (alcalinos) durante la hidratación. Esta reacción baja el valor del pH de la solución de poros, suprimiendo la ocurrencia de RAS. Las adiciones puzolánicas difieren en forma y reactividad dependiendo de su fuente, pero generalmente su efecto es más homogéneo si se agrega en el proceso de molienda del cemento en lugar de a la mezcla del hormigón. Sin embargo, existen algunas controversias en relación con la eficiencia de las adiciones en bajar la velocidad de la RAS.

Los aditivos tales como los aceleradores tradicionales para shotcrete pueden introducir cantidades importantes de álcalis, que pueden aumentar la reactividad de la solución de poros.

En el caso de áridos considerados sensibles, se debe usar acelerador libre de álcalis.



El aumento en el volumen debido a la presión resultante de la RAS se hace perceptible mediante la medición del cambio de longitud en una probeta de ensayo. Normalmente las muestras se almacenan en condiciones intensificadas (temperatura, humedad, carga aplicada) para acelerar la reacción.



La apariencia del daño por RAS puede evaluarse muy bien en la superficie seca del hormigón de esta columna de puente. El daño puede aparecer dentro de años o sólo después de décadas.

La experiencia ha demostrado que la inclusión de aditivos especiales puede inhibir la reacción RAS, de este modo se previene la expansión. Otra solución posible es el uso de aditivos incorporadores de aire para crear espacios artificiales para los productos de la reacción expansiva. Si la posible ocurrencia de RAS representa un problema mayor, se recomienda realizar los ensayos de reacción para determinar el potencial de RAS.



Hormigón Resistente a la Abrasión

Los impresionantes cañones y valles son un testimonio de la naturaleza sobre la fuerza innegable del agua. Principalmente, en la ingeniería hidráulica y también en zonas de tráfico con cargas altas o circulación de cuerpos duros, las superficies de hormigón experimentan presiones considerables y a veces extremadamente abrasivas. Los mecanismos de daño dependen del tipo de carga. Si la superficie está expuesta a rodados, contacto o percusión se diferencian substancialmente los posibles patrones de daños así como las medidas de prevención.



Particularmente en rápidos, las superficies de hormigón están sujetas a masivas fuerzas adicionales por arrastre de partículas, bordes afilados y abrasión, así como posibles tensiones por temperatura debido a la exposición al congelamiento.



Los pavimentos de hormigón y otras áreas accesibles al público, especialmente aquellas que experimentan altos volúmenes de tráfico o de cargas concentradas, están sujetas, junto con las cargas mecánicas, a una fuerte abrasión que a menudo presenta el riesgo de superficie resbaladiza.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo	
Áridos	Los áridos empleados deben ser tan duros como sea posible	Todos los tamaños de áridos son posibles.	
Cemento	Cualquier cemento que cumpla con los estándares locales	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación.	
Adiciones en polvo	Microsílice para mejorar compacidad	Sikafume®	Hasta un máx. de 8%
Contenido de agua	Agua limpia, libre de finos	Razón agua / cemento de acuerdo con los estándares de exposición	< 0,45
Aditivos para hormigón	Súperplastificante El tipo depende de la colocación y requerimientos de resistencia Fibras de acero	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.80 – 1.60%
		Sika® Fibers	10 – 30 kg/m ³
Requerimientos de colocación	Compuesto de curado	Colocación y compactación cuidadosa. Curado subsiguiente para asegurar alta calidad (compacidad) de las superficies SikaCure®	
Recubrimiento de superficie	Endurecedor de superficie Revestimiento protector	Sikafloor®	0.3 – 1.5 mm

Normas de referencia, publicaciones

- 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 – Guía para el Hormigón Durable, Capítulo 8 – ABRASIÓN
- ASTM C779 – Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión de Superficies horizontales de hormigón
- ASTM C 1138 – Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión del Hormigón (Método bajo agua)



En el transcurso de décadas e incluso de siglos, la exposición a la abrasión puede producir las más variadas experiencias de patrones de daño. Sobre todo se debe considerar la diferencia entre cargas rodantes en el tráfico de caminos, tráfico pesado incluyendo ruedas de acero o exposición al agua, con o sin transporte adicional de sedimentos. En zonas de tráfico, la intensidad, el peso y el tipo de ruedas son decisivos para la carga global. En el caso de abrasión por agua, es crucial la velocidad del flujo y la cantidad y el tipo de sedimento.

Para aumentar la resistencia a la abrasión del hormigón, en la mayoría de los casos la provisión de superficies duras es el enfoque apropiado. Sin embargo, si la exposición involucra percusión o impacto, entonces la capacidad de absorción de la superficie tiene un rol importante, el que puede resultar contradictorio con la dureza de la superficie. El principio básico más crítico, es la colocación apropiada del hormigón (prevención de levantamientos de finos a la superficie debido a la vibración excesiva) y un excelente curado, de modo que las propiedades deseadas del hormigón puedan surgir sobre todo en áreas cercanas a la superficie. Las superficies que están tan niveladas como sea posible, proporcionan el menor potencial para ataques abrasivos.

La verificación de patrones de daño es más bien directa y se realiza mediante la evaluación de la abrasión de la superficie, la condición del mortero superficial o lechada de cemento y de los áridos cercanos a la superficie.

El hormigón con alta o mejorada resistencia a la abrasión debe demostrar una resistencia a compresión de alrededor de 50 MPa. La superficie puede ser considerablemente mejorada contra la abrasión mediante el uso de microsílíce y/o endurecedor de superficie. Para tener resistencia contra el ataque de percusión o de impacto, la dureza o la resistencia a la flexión del hormigón deben ser mejoradas. Esto se puede lograr con el uso de refuerzos de fibra en la mezcla. El mejoramiento de la capacidad general de trabajo del hormigón puede lograrse mediante la adición de polímeros sintéticos para fortalecer la matriz de pasta de cemento endurecido, el que además aumenta la adherencia con los áridos. Finalmente, debe existir una diferenciación adicional entre áreas de tráfico y áreas para facilitar la disipación de energía. En estas áreas, se recomienda el uso de hormigón de alta resistencia reforzado con fibras de acero, con una resistencia a compresión sobre 80 MPa y su correspondiente resistencia a flexión.

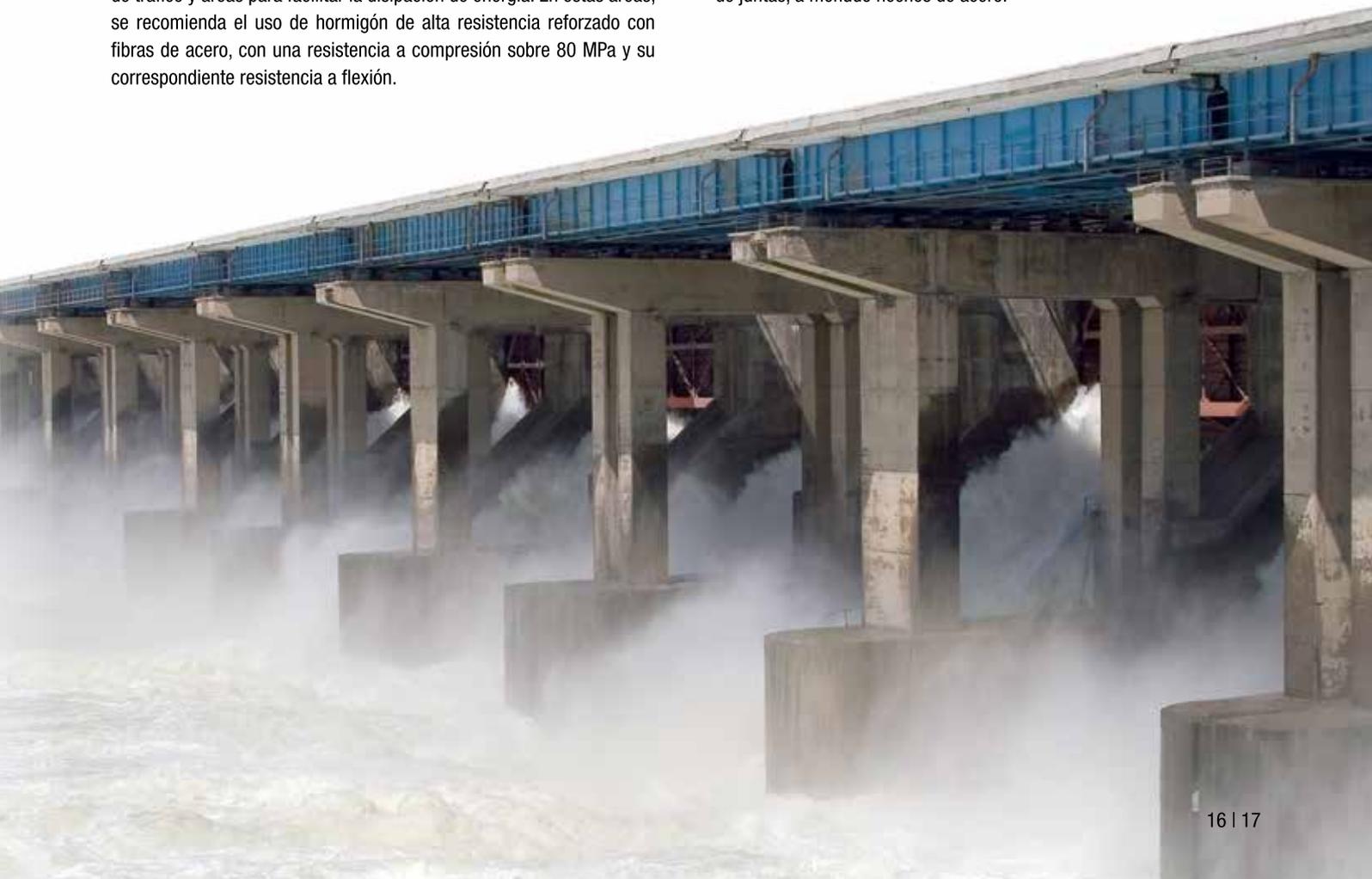


Debido a la exposición continua, la lechada o mortero de cemento se erosiona en un primer paso y después mayores y mayores cantidades de árido se pulen, se rompen o desprenden de la pasta de cemento endurecida.



Las superficies de pisos industriales también experimentan una fuerte abrasión debido al constante rodaje y golpes de cargas. Los endurecedores de hormigón y los revestimientos especiales pueden mejorar el comportamiento del piso y minimizar el desgaste.

En la construcción, el diseño de los bordes debe tener una atención especial. Ya sea en las juntas de dilatación en las superficies de los puentes o en los bordes de las construcciones hidráulicas, éstas deben manejarse en forma especial. Las soluciones sólo con hormigón normalmente son insuficientes. Se deben incorporar perfiles especiales de juntas, a menudo hechos de acero.



Hormigón Resistente a Ataque Químico

El agua es la fuente de toda vida así como un bien escaso. El agua potable, por lo tanto, debe estar protegida contra la contaminación, mientras que las aguas servidas deben ser tratadas antes de ser liberadas a un sistema de descarga. Las aguas servidas en sí, así como los procesos de tratamiento de las mismas, exponen las superficies de hormigón a ataque químico. Mediante una buena planificación y aplicando los conceptos de diseño apropiados para el hormigón, las superficies pueden ser diseñadas para durar. Sin embargo, la resistencia del hormigón al ataque químico es bastante limitada, de modo que deben preverse los sistemas de protección apropiados de la superficie en caso de ataque químico que exceda los límites.

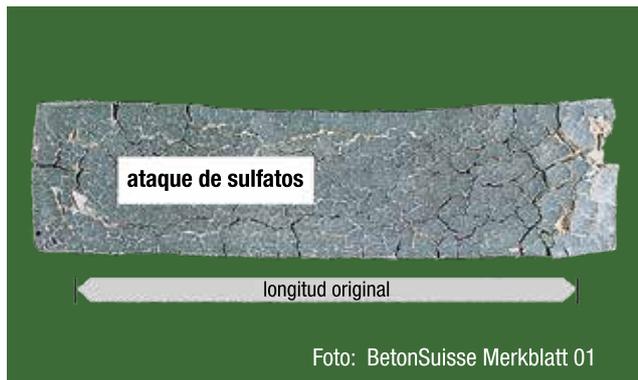


Foto: BetonSuisse Merkblatt 01

El ataque de sulfatos se debe principalmente a sulfatos disueltos en agua. Mediante la reacción con la matriz de cemento endurecido, se induce un aumento del volumen que daña la estructura.



Foto: BetonSuisse Merkblatt 01

La disolución ácida de los componentes de calcio en la matriz del cemento endurecido puede ser provocada por ácidos, sales reactivas, grasas o aceites animales o vegetales. La degradación del hormigón normalmente ocurre muy lentamente.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo	
Áridos	Los áridos empleados deben ser de alta calidad y resistentes al frío	Todos los tamaños de áridos son posibles.	
Cemento	Cementos resistentes a los sulfatos Cementos con alta proporción de carbonato de calcio Cementos que contengan polvos de sílice	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación.	
Adiciones en polvo	Microsílice, cenizas volantes o escoria granulada de horno alto	Sikafume®	3.0 – 6.0%
Contenido de agua	Agua limpia, libre de finos	Razón agua / cemento de acuerdo con los estándares de exposición	< 0.45
Aditivos para hormigón	Súper plastificante El tipo depende de la colocación y requerimientos de resistencia inicial	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.80 – 1.60%
Requerimientos de colocación	Compuesto de curado	Colocación y compactación cuidadosa. Curado subsiguiente para asegurar alta calidad (compacidad) de las superficies SikaCure®	
Sistema de protección	La resistencia del hormigón a los químicos es altamente limitada. Si se exceden los límites de exposición las superficies de hormigón pueden ser protegidas con revestimientos	Sika ofrece un amplio rango de soluciones para prevenir la penetración de químicos. Solución: Sikagard®, Sikafloor® y Sikalastic®	

Estándares referenciales, publicaciones

- ACI 201.2R – 08 Guía para el hormigón durable, capítulo 6 – Ataque químico
- ASTM C88 – Método de prueba estándar de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio
- Folleto Cernsuisse MB01 Erosión del hormigón en embalses de plantas de aguas servidas, junio 2010
- Chemischer Widerstand: DAfStb-Richtlinie "Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (2004)

El agua tiene su mayor importancia en su empleo para la irrigación y como agua potable. Junto con estas aplicaciones, el agua se usa en la industria, en la agricultura, como un medio de transporte y de muchas otras maneras en la vida diaria. El agua y otros fluidos se bombean a través de cañerías y se almacena en estanques; esto es válido tanto para el agua limpia como para el agua residual. El contacto del hormigón con el agua ocurre principalmente en tales condiciones, como medio para conducir o almacenar. Normalmente los estanques usados para el almacenamiento de agua potable y para la purificación de aguas servidas, y también las tuberías para transmisión, están hechas de hormigón. Sobre todo en el tratamiento de aguas servidas en embalses de sedimentación, embalses de aireación (descomposición de sustancias orgánicas) e incluso en la limpieza, el hormigón es un importante material de construcción. Por lo tanto, el desafío es diseñar estas estructuras de hormigón para que resistan la exposición a los distintos químicos y al mismo tiempo resistan las tensiones mecánicas concomitantes. El diseño del hormigón químicamente resistente y el tratamiento apropiado de estanques y colectores deben adaptarse entre sí, o en lugares donde la resistencia química del hormigón sea insuficiente, debe complementarse mediante revestimientos protectores adecuados.

La resistencia química en este caso significa la resistencia a la corrosión y erosión del hormigón. Junto con los tipos conocidos de ataques con desprendimiento superficial de hormigón, tales como el hielo-deshielo (con y sin agentes de descongelamiento), RAS (Reacción Álcali - Sílice), exposición al sulfato y abrasión mecánica de la superficie, particularmente en las plantas de tratamientos de aguas servidas, la agresión química es también prevalente. El agua tratada en tales instalaciones, sin embargo, varía muchísimo como para describir el ataque en las superficies de hormigón de modo uniforme. Además, la dureza es decisiva en la calidad general del agua. Por una parte, la superficie del hormigón es atacada por un coctel de químicos, mientras que también ocurren tensiones mecánicas (por ejemplo, presión por tratamientos de limpieza). Por lo tanto, se desprenden los finos que ya han sido disueltos pero que permanecen adheridos dentro de la estructura de hormigón. Todo este proceso es adicionalmente acelerado por el agua blanda (dureza $<15^{\circ}\text{fh}$ ó 8.4°dh) y la reducción del valor de pH en la superficie del hormigón. El diseño del hormigón, su curado y principalmente la limpieza de la superficie deben ser adaptados a la exposición respectiva.

Mientras que para la resistencia a la limpieza mecánica se considera óptima una superficie de hormigón compacta y dura, la limpieza química es mejor tolerada por un hormigón con alto contenido de calcita. La resistencia química del hormigón es fuertemente limitada.



Fuerte lixiviación y daño a la estructura de hormigón se observa particularmente en zonas de salpicaduras de agua de estanques de tratamientos biológicos.



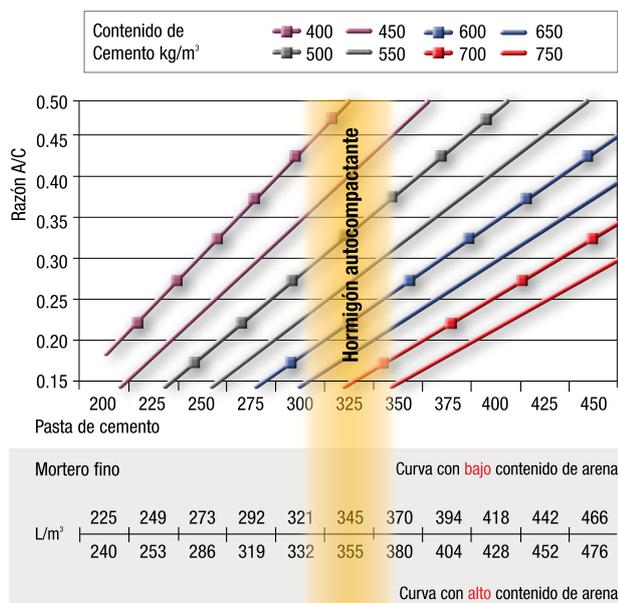
Un revestimiento epóxico protector se aplica sobre toda la superficie después del reperfilado de la superficie de hormigón y reparación con mortero resistente al sulfato.

Si se exceden los límites de exposición, las superficies del hormigón sólo pueden ser protegidas de modo duradero con recubrimientos apropiados.



Hormigón de Alta Resistencia

El hormigón de alta resistencia y de ultra alta resistencia no son sólo tecnologías de punta para la investigación científica, sino que también con ellas se continúan buscando nuevas aplicaciones en la práctica. Ya sea en relación con la esbeltez de los componentes del edificio (diseño) o con el dimensionamiento para condiciones extremas (por ejemplo sismos), las más altas propiedades del material (resistencia a compresión y de flexión, elasticidad y ductilidad) son de gran interés en la tecnología del hormigón. De este modo, la durabilidad y la alta resistencia del hormigón son interdependientes.



El hormigón de alta resistencia y sobre toda el de ultra alta resistencia son prácticamente siempre reforzados con fibras. Dependiendo de los requerimientos, las fibras sintéticas y/o de acero se emplean en gran cantidad. La alta resistencia a la flexión del hormigón de ultra alta resistencia se puede lograr de este modo.

De significado fundamental para el logro de las altas propiedades mecánicas son los conceptos de contenido de finos y volumen de la pasta de cemento. Sólo de este modo se logra la mayor densidad posible.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo
Áridos	La resistencia excepcional del hormigón se puede lograr mediante el uso de áridos chancados de alta resistencia	Curva de ley bien distribuida con bajas cantidades de finos
Cemento	Uso de mayor contenido de cemento y de alta resistencia	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación
Adiciones en polvo	Adherencia mejorada entre áridos y la matriz de cemento - microsílíce	Sikafume® 5.0 – 10.0%
Contenido de agua	Agua limpia, libre de finos	Razón agua / cemento de acuerdo con los estándares de exposición < 0,38
Aditivos para el hormigón	Súper plastificante El tipo depende de la fluidez y asentamiento de cono	Sika® ViscoCrete® 1.0 – 4.0%
	Fibras	Sika® Fibers 10 – 30 kg/m³
Requerimientos de colocación y de curado	Curado prolijo iniciado tan temprano como sea posible y se debe extender por dos días para los elementos interiores o tres días para los elementos exteriores, especialmente cuando se usa microsílíce Compuesto de curado	Colocación y compactación cuidadosa. Curado subsiguiente para asegurar alta calidad (compacidad) de las superficies SikaCure®

Normas de referencia, publicaciones

- ACI 211, 4R, Guía para la selección de proporciones para el hormigón de alta resistencia usando cemento Portland y otros materiales cementosos
- Technische Universität München, Hochfester Beton, 2004

En la tecnología de hormigón, el hormigón de alta resistencia (HAR) normalmente se define por una resistencia a la compresión entre 60 y 120 MPa a los 28 días. Por su parte, se designa como hormigón de ultra alta resistencia (HUAR) al hormigón con resistencia a la compresión por sobre 150 MPa. Los hormigones de alta resistencia se caracterizan por su incrementada resistencia a compresión, a tracción y a flexión, además de su ductilidad en combinación con la durabilidad aumentada. La densa matriz de aglomerante con permeabilidad extremadamente baja es un factor que mejora la resistencia del hormigón endurecido. Además, el hormigón de alta resistencia muestra una adherencia aumentada entre la matriz aglomerante y los áridos. Se logra una mayor densidad de la matriz de aglomerante mediante el empleo de bajas relaciones agua / cemento y agua / aglomerante. La adherencia entre la matriz y los áridos se mejora mediante el uso de materiales puzolánicos, comúnmente microsílíce.

La retracción total de este hormigón es igual a aquella del hormigón normal, mientras que los valores de retracción química son más altos, los valores de retracción por secado son inferiores. La deformación por fluencia es menor y la matriz de hormigón compacto induce a una mayor resistencia a la polución.

Los desafíos se encuentran a lo largo de todo el proceso de producción. Hormigones con fórmulas especiales con altas concentraciones de materiales conocidos (cementos, aditivos o fibras) y otros materiales nuevos no conocidos previamente (agregados cerámicos) deben ser fabricados en plantas de mezclado mejoradas y colocados como mezclas autocompactantes. Los aditivos no sólo tienen la tarea de una reducción extraordinaria de agua; la capacidad de fluir de tales mezclas muy cohesivas también es un gran desafío. El hormigón de alta resistencia ofrece un amplio rango de posibilidades de aplicación debido a sus características técnicas versátiles. Hoy su campo de aplicación primario está en el hormigón prefabricado. Es particularmente apropiado para elementos de compresión, tales como columnas altamente cargadas y muros en edificios de gran altura, especialmente en áreas vulnerables a sismos.

Asimismo, las construcciones de puentes diseñados con hormigón pretensado requieren de mayor resistencia a la compresión. El HAR en particular facilita la construcción de puentes con amplios tramos y dimensiones esbeltas.

Las estructuras que deben soportar ciertas exposiciones severas requieren de la aplicación de HAR, por ejemplo los elementos sujetos a solicitaciones químicas y mecánicas tales como pisos industriales, áreas de tráfico, estructuras mar adentro o plantas de tratamiento de aguas residuales.



La resistencia a compresión sobre 150 MPa, ya no es una cuestión de hormigón común. Los áridos de rocas se reemplazan por ejemplo por áridos finos de origen cerámico y toda la matriz aglomerante solamente es una pequeña reminiscencia del hormigón clásico. La ilustración muestra el comportamiento del flujo de un HUAR de 200 MPa.



Los componentes de la estructura altamente tensionados, tales como columnas y vigas están hechos de hormigón de alta resistencia. La alta resistencia a las influencias externas hace también del hormigón de alta resistencia mecánica un recubrimiento de protección ideal para elementos de construcción expuestos.

Además, el hormigón de alta resistencia se requiere en la construcción de estructuras especiales de ingeniería, como centrales de energía hidroeléctrica, torres de enfriamiento o chimeneas.

Dado que el hormigón de alta resistencia ofrece adicionalmente una alta resistencia inicial, su uso es ventajoso cuando se tienen cortos períodos de cierre de áreas de tráfico – en caso de reparación urgente – o cuando se desea desmoldar en tiempo reducido.

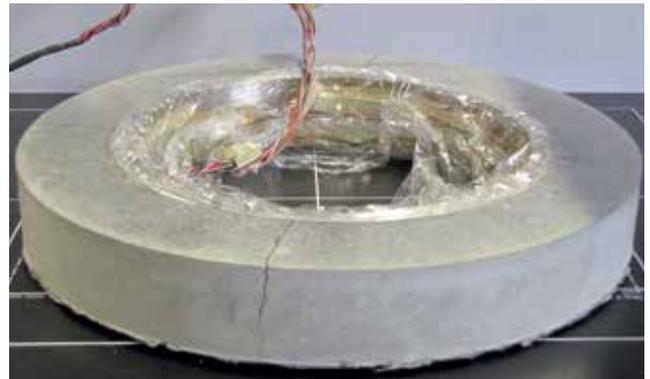


Hormigón de Retracción Controlada

La prevención de la formación de grietas contribuye a la durabilidad de las estructuras de hormigón porque las grietas son vías de ingreso de agua o de contaminantes. Los códigos actuales de construcción especifican los límites para el ancho de las grietas dependiendo de las condiciones medioambientales en las que se construye el edificio y su vida útil. Una razón principal de la ocurrencia de grietas en el hormigón es la retracción relacionada con deformaciones a corta edad. Estas grietas no sólo comprometen la apariencia estética, sino también disminuyen la durabilidad así como la capacidad de servicio de los elementos de hormigón. Existen distintos tipos de retracción y, con las medidas correctas, se pueden controlar los distintos fenómenos.



Grietas debido a retracción plástica en un pavimento de hormigón provocadas por una protección insuficiente de la superficie antes del secado prematuro.



Comparación inter-laboratorio de ensayos en el Instituto Federal de Tecnología de Zúrich para determinar el comportamiento de aditivos reductores de retracción.

Diseño de la mezcla de hormigón y medidas recomendadas:

Componentes	Descripción	Fórmula de ejemplo	
Áridos	Grandes volúmenes de áridos pueden reducir la retracción por secado	Todos los tamaños de áridos son posibles	
Cemento	La retracción por secado se pueden reducir con un bajo volumen de pasta de cemento	Volumen de pasta de cemento tan baja como sea posible para el respectivo método de colocación	
Contenido de agua	El bajo contenido de agua es favorable para reducir la retracción plástica y retracción por secado Con índices de agua / cemento menores que 0.4 pueden ocurrir contracciones autógenas	Razón de agua / cemento	< 0.45
Aditivos para hormigón	Súperplastificante El tipo depende de la trabajabilidad y de los requerimientos de resistencia inicial	Sika® ViscoCrete® o SikaPlast® o Sikament®	0.80 – 1.50%
	Agente reductor de retracción	Sika® Control	0.5 – 1.5 %
	Fibras cortas de polipropileno pueden reducir los efectos de la retracción plástica	Sika® Fibers	1 – 3 kg/m ³
	Fibras de acero para asegurar la distribución uniforme de las posibles fisuras	Sika® Fibers	20 – 40 kg/m ³
Requerimientos de instalación y curado	El curado se inicia tan temprano como sea posible y se mantiene por un período suficiente de tiempo para que tenga influencia en la retracción plástica y de secado	Colocación y compactación cuidadosa. Curado subsiguiente para asegurar alta calidad (compacidad) de las superficies	
	Compuesto de curado	SikaCure®	

Normas de referencia, publicaciones

- Aitcin, P.C. y otros, Visión integrada de la deformación por retracción, Concrete International, Septiembre, 1997
- Al-Manseer, Aktherm y otros, Conclusiones del taller ACI-RILEM sobre la deformación y retracción en estructuras de Hormigón, ACI Concrete International, Marzo, 1999
- Neville, Adams, Tecnología del hormigón, IMCYC, México, 1984. Libro 2
- ACI 223 – Práctica estándar para el uso de hormigón con compensación de retracción

La prevención de grietas por retracción demanda la consideración de varios factores, partiendo con el diseño estructural apropiado, la especificación del hormigón y termina con una buena práctica de construcción, incluyendo la correcta colocación del hormigón, la compactación y el curado prolijo. La identificación de los distintos tipos de retracción del hormigón lleva a la aplicación de acciones apropiadas en relación con la tecnología del hormigón. Los tipos de retracción del hormigón incluyen la retracción química, retracción plástica, retracción autógena, retracción por secado y retracción por carbonación. Los tipos más importantes con el impacto más grave son la retracción química, retracción plástica y retracción del secado.

En el caso de la retracción química, los productos de hidratación formados durante el proceso de hidratación ocupan un volumen menor que el volumen total de las materias primas individuales. Esto resulta en una disminución de la dimensión total de los elementos de hormigón en la medida que éste aún esté plástico. Después del fraguado del hormigón, esta disminución de volumen lleva a poros pequeños y grietas. Una medida efectiva es la re-compactación del hormigón.

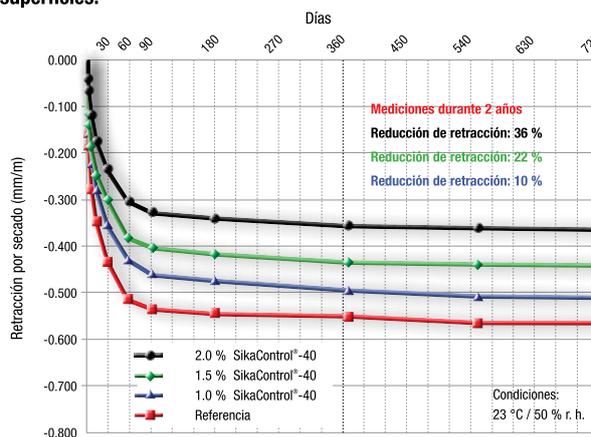
La retracción plástica se manifiesta a través de una disminución del volumen provocado por la evaporación del agua, que lleva a la contracción del hormigón en todas las direcciones. La mayor porción de la contracción en las primeras etapas se produce en el plano horizontal, principalmente en la superficie en contacto con el aire. Este es uno de los tipos más comunes e importantes de retracción. Los factores que influyen son la humedad relativa, la temperatura y el viento en el medioambiente. Las condiciones de secado más severas aumentan el valor de la retracción. La deformación por retracción se dobla a velocidad del viento de 1 m/s y es cinco veces mayor a velocidad del viento de 3 m/s. La retracción plástica puede controlarse mediante la iniciación del curado tan pronto como sea posible así como con la restricción del contenido de agua en el hormigón.

La retracción autógena es un cambio de volumen que ocurre después del fraguado inicial del hormigón debido a la hidratación, dado que este proceso requiere agua y por lo tanto reduce el agua libre interna. Esto tiene el mismo efecto que una pérdida de agua provocada por la evaporación en la superficie: el hormigón se contrae. Las mezclas de hormigón con una razón agua / cemento mayor que 0.4 no se ven afectadas por este fenómeno. Este tipo de retracción está ganando importancia con el uso de tipos de hormigón de alta resistencia con relaciones agua / cemento muy bajas.

La retracción por secado en el hormigón endurecido normalmente se



La inmediata aplicación del compuesto de curado a las superficies de hormigón expuestas es el paso más crucial para la protección de tales superficies.



Desarrollo de la retracción por secado de hormigón que contiene aditivo reductor de retracción, medida durante 2 años.

produce por la evaporación del agua a través de los poros 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.

Los principales factores que influyen son las dimensiones de los elementos del hormigón, la humedad relativa ambiental y la razón agua / cemento. Las posibles medidas incluyen una reducción del volumen de la pasta de cemento y la aplicación de aditivos reductores de la retracción.



Sika - Presencia Global

Sika es una compañía globalmente activa en la química de la construcción y especialidades. Tiene subsidiarias con manufactura, ventas y soporte técnico en más de 80 países. Sika es el Líder global en tecnologías de impermeabilización, sellado, pegado, refuerzo y protección de estructuras de edificios y obras de ingeniería. Sika tiene aprox. 15.200 empleados en el mundo por lo cual está idealmente posicionado para contribuir al éxito de sus clientes.



Sika S.A. Chile

Casa central y oficinas regionales:

Planta Santiago Casa Central

Avda. Pdte. Salvador Allende 85
San Joaquín, Santiago
Cod. Postal 8941077
Tel.: + 56 2 2510 6510
atencion.clientes@cl.sika.com

Planta Zona Norte Antofagasta

Avda. de la Minería 225
Sector "La Negra"
Tel.: + 56 55 531 517
antofagasta.sika@cl.sika.com

Oficina Zona Sur Concepción

Camino a Penco Nº 3036
Galpón D-1, Concepción
Tel.: +56 41 238 0942
concepcion.sika@cl.sika.com

Oficina Zona Sur Puerto Montt

Ruta 5 Sur, Km 1024,
Módulo 13 (sector Alto Bonito),
Puerto Montt
Tel.: + 56 65 232 067
pmonnt.sika@cl.sika.com

La información contenida aquí y cualquier otra recomendación se dan en buena fe basada en el conocimiento y experiencia actual de Sika de los productos cuando se han almacenado apropiadamente, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. La información sólo se aplica a la(s) aplicación(es) y producto(s) expresamente referidos aquí. En caso de cambios de los parámetros de la aplicación tales como cambios en los sustratos etc., o en caso de una aplicación o propósito propuesto. Los usuarios siempre deben referirse a las más recientes ediciones de la Ficha Técnica local del producto correspondiente, copias de la cual se proporcionarán a su solicitud y que puede encontrar en www.sika.cl

