



# HORMIGÓN TECNOLOGÍA SIKAFIBER®

CONSTRUYENDO CONFIANZA





# HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

Las fibras son un ingrediente ideal para hormigones, mejorando la performance de los mismos principalmente en absorción de energía y resistencia al fuego, y también reduciendo fisuras por contracción y ancho de fisuras. Esto permite realizar hormigones con una reducción significativa de armadura respecto de un hormigón armado convencional, que al mismo tiempo posee igual o inclusive mayor durabilidad. La idea de utilizar refuerzo de fibras en materiales de construcción se puede trazar a varios cientos, inclusive miles, de años, pero a pesar de ello, resulta más vigente que nunca con tecnologías modernas.

El hormigón se ha desarrollado considerablemente en las últimas décadas y la tecnología de fibras ha evolucionado velozmente junto a él.

Las aplicaciones de hormigones reforzados con fibras se han expandido y existen fibras de nuevos materiales capaces de reemplazar fibras tradicionales como las de acero o vidrio.

La Tecnología SikaFiber® se encuentra en la vanguardia de estas tecnologías.

# LAS FIBRAS MEJORAN EL HORMIGÓN Y LA ESTRUCTURA

**EL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS ES** hormigón al cual se le han incorporado fibras durante su elaboración para mejorar su comportamiento ante fisuras y rotura. Luego de varios años de investigación y desarrollo, el hormigón reforzado con fibras ya está completamente establecido en el mercado por sus importantes ventajas.

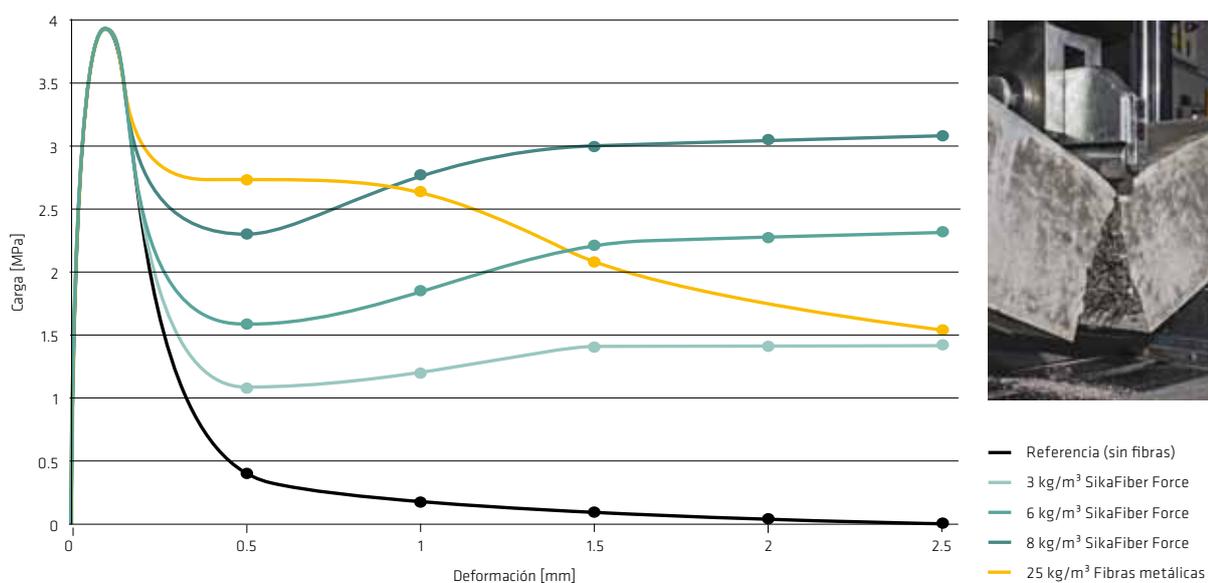
Las fibras están embebidas en la matriz de cemento y no tienen efecto significativo hasta el momento de endurecimiento, en el cual inhiben la aparición de fisuras a través de su resistencia a tracción y elongación. Donde hay mayor tensión, previenen fisuras grandes, haciendo que se disipen en fisuras más numerosas pero mucho más finas y generalmente inofensivas. Las fisuras pueden aparecer en distintos momentos en el hormigón: al comienzo durante el proceso de endurecimiento,

las cuales son fisuras por contracción a edad temprana; luego, con mayor edad y resistencia, pueden aparecer fisuras por aplicación de cargas. Si se producen fisuras en el hormigón, el módulo de elasticidad de las fibras es fundamental, ya que el mismo define la resistencia de las mismas para contrarrestar su deformación elástica. Debido a que las fibras son fáciles de manipular y tienen buena adherencia a la matriz, son ideales para mejorar la performance del hormigón en numerosas aplicaciones.

La adición de fibras adecuadas puede brindar mejoras significativas en las propiedades del hormigón, tales como:

- Menor fisuración debido a contracción en temprana edad
- Mejora la cohesión del hormigón en estado fresco
- Mayores valores de resistencia a flexión y corte
- Incremento de la capacidad de carga y ductilidad
- Incremento en la resistencia a abrasión
- Protección ante el ataque por congelamiento y deshielo
- Incremento en la resistencia al fuego

EN 14651 Ensayo de carga residual



Con este gráfico se puede ver que el hormigón reforzado con fibras metálicas posee mayor módulo de elasticidad y mayor capacidad de carga luego de la aparición de la primera fisura. Debido al menor largo (35mm) de la fibra metálica, este nivel de carga disminuye al aumentar la deformación.

En cambio, las fibras de polipropileno muestran una caída de carga luego de la aparición de la primera fisura (carga máxima), pero al aumentar la deformación, las fibras toman las cargas y la capacidad portante de la estructura incrementa significativamente.

# APLICACIONES TÍPICAS DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS

**LAS FIBRAS PUEDEN POTENCIAR Y MEJORAR HORMIGONES Y MORTEROS** en variadas aplicaciones. Las fibras incrementan la ductilidad de revestimientos de hormigón proyectado y la resistencia al fuego en hormigones de revestimiento definitivo en túneles, también reducen las fisuras en pavimentos, tableros de puentes y pisos industriales, adicionalmente aumentan la resistencia al impacto y reducen considerablemente el daño sobre piezas de hormigón prefabricado.



## HORMIGÓN PROYECTADO

El agregado de fibras permite el aumento de la ductilidad del hormigón proyectado. Por ejemplo, si el revestimiento de hormigón proyectado del soporte de un túnel se fisura debido a altos esfuerzos de flexión, las fibras logran redistribuir el esfuerzo y actúan como un sostenimiento flexible. Esta interacción entre hormigón proyectado y fibras, también permite el incremento de la resistencia mecánica del revestimiento. El refuerzo puede ser disminuido, inclusive el refuerzo secundario ser dejado completamente de lado. El resultado son avances más veloces y económicos en excavaciones de sostenimiento en tunelería.



## PROTECCIÓN IGNIFUGA

Las microfibras sintéticas hacen que el hormigón sea mucho más resistente al fuego. Las fibras se agregan al hormigón durante su elaboración. En caso de producirse fuego, por ejemplo en un túnel, las fibras sintéticas se derriten dentro del hormigón y esto genera un sistema capilar a través del cual la presión del vapor de agua puede liberarse. Los desprendimientos de hormigón se reducen significativamente, lo que evita reparaciones posteriores, por ende incrementando su durabilidad, estabilidad y seguridad.



## LOSAS Y PAVIMENTOS

Las fibras utilizadas en pisos y pavimentos reducen significativamente la aparición de fisuras en edad temprana y colaboran en la estabilización de la mezcla. Las fibras también brindan mejor comportamiento a flexión y mayor resistencia al impacto. Como consecuencia de esto, se puede reducir la cantidad de armadura y se puede también aumentar el espaciamiento entre juntas. Adicionalmente las fibras colaboran con la prevención de rotura en los labios de las juntas o en los bordes de las losas, de esta manera, la durabilidad aumenta.



### **CARPETAS**

Las fibras se utilizan en varios tipos de carpetas para mejorar la trabajabilidad del mortero, adicionalmente también mejoran la calidad y la durabilidad de la carpeta endurecida con control en la distribución de las fisuras y disminución de la contracción. En la etapa de endurecimiento, no se forman fisuras largas y separadas, sino que en su lugar aparecen fisuras mucho más pequeñas que disminuyen el potencial de daño. Este refuerzo con fibras mejora la resistencia al impacto y la resistencia a la rotura del mortero.



### **HORMIGÓN PREMOLDEADO**

El uso de fibras en hormigones premoldeados genera piezas más livianas y económicas ya que posibilitan la reducción de armadura de acero, lo cual se traduce en ahorro económico y de tiempo de producción. La distribución uniforme de las fibras en toda la sección transversal de hormigón también da una mayor resistencia al impacto en las esquinas y bordes de las piezas. También con el uso de fibras se previene el riesgo asociado a la manipulación de armadura por parte de operarios durante producción e instalación, evitando potenciales accidentes.



### **REPARACIONES**

Los morteros de reparación formulados y producidos con fibras tienen mayor durabilidad con mejoras en la distribución de fisuras, y además tienen mayor capacidad de trabajo debido a la posibilidad de puenteo de fisuras que brinda las fibras. Al verse mejorada la cohesión interna por el uso de fibras, también se pueden lograr capas de mortero proyectado de mayor espesor y, en consecuencia, mayores avances reduciendo el costo global.



### **HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA (HAR) Y HORMIGONES DE ULTRA ALTA PERFORMANCE (HUAP)**

Se requiere el uso de HAR o HUAP cuando se necesita alta estabilidad estructural bajo condiciones extremas (por ejemplo terremotos) en elementos esbeltos. Con el uso de fibras cortas y de alto módulo de elasticidad, se puede reducir el uso de armadura sin tesar; como alternativa, combinando el uso de fibras con armadura sin tesar se pueden lograr altas capacidades de absorción de energía.

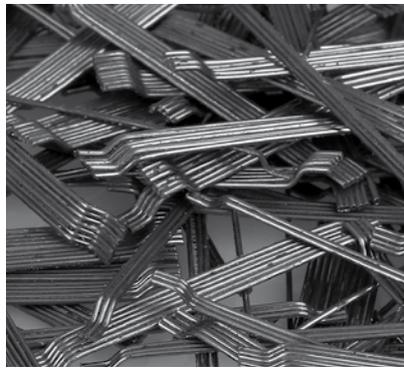
# TIPOS DE FIBRAS

**DEPENDIENDO DE LA PERFORMANCE REQUERIDA**, diferentes tipos de fibras se agregan al hormigón. Para protección ignífuga y reducción de fisuras, se utilizan fibras sintéticas, cortas y delgadas, mientras que fibras sintéticas o metálicas más largas se usan cuando uno desea aumentar la absorción de energía. Requerimientos especiales demandan fibras de materiales y formas especiales. Por ejemplo, hormigones de ultra alta performance requieren fibras cortas con alto módulo E. Sika provee este y otros tipos de fibras, y la combinación entre ellas.



## MACRO FIBRAS SINTÉTICAS

Las macro fibras sintéticas tienen un menor módulo E que las fibras metálicas (5 - 15 GPa). A diferencia de las fibras metálicas, las fibras sintéticas no pueden absorber cargas extremadamente altas, pero funcionan muy bien en el endurecimiento temprano del hormigón, previniendo y/o reduciendo el tamaño de las fisuras. Son resistentes a la corrosión y le dan al hormigón mayor ductilidad.



## FIBRAS DE ACERO

Las fibras de acero se caracterizan por su alto módulo E (200 GPa) y alta resistencia a tracción (2500 MPa). Previenen la fatiga del hormigón pero no contrarrestan la contracción temprana. La corrosión no genera desprendimientos del hormigón, pero si un cambio de color en la superficie del mismo. Aquellas fibras que sobresalgan de la superficie de hormigón pueden representar un daño a la impermeabilización con membranas de PVC.



## MICRO FIBRAS SINTÉTICAS

Las micro fibras sintéticas tienen aún un menor módulo E que las macro fibras sintéticas (3 - 5 MPa). Se utilizan principalmente para reducir fisuración en edad temprana y también para mejorar la resistencia al fuego, gracias a su bajo punto de fusión (160 °C). Estas fibras tampoco se corroen.

## APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRA

Estado del hormigón	Efecto / mejora en las propiedades	Tipo de fibra recomendada
Fresco	Mejora en la homogeneidad	Micro fibras de PP
Hasta las 12 horas	Reducción de las fisuras en edad temprana	Micro fibras de PP
1-2 días	Reducción de fisuras inducidas por arriostamiento o temperatura	Micro y Macro fibras de PP
28 días de endurecido o más	Trasmisión de fuerzas externas	Macro fibras de PP y Fibras metálicas
28 días de endurecido o más	Mejor resistencia al fuego	Micro fibras de PP



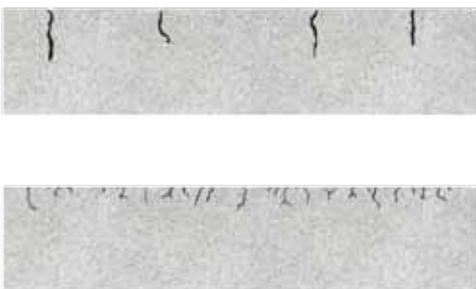
# MAYOR PERFORMANCE EN EL HORMIGÓN POR EL USO DE FIBRAS

**LA OBTENCIÓN DE MÚLTIPLES CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS EN EL HORMIGÓN** se logra por la combinación de varios tipos de fibras. Por ejemplo, fibras largas con un alto módulo E y buen anclaje se utilizan para alcanzar altos valores de absorción de energía y fibras pequeñas con menor módulo E se agregan para reducir fisuración. Por otro lado, fibras largas con bajo módulo E se utilizan para aumentar la ductilidad y reducir fisuras, y fibras pequeñas con bajo punto de fusión se utilizan para protección ignífuga. En resumen, como hay diferentes aplicaciones y requisitos, se pueden combinar los diferentes tipos y cantidades de fibras para cubrir todos estos requerimientos de manera simultánea.



## COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

El hormigón se comporta generalmente bien a compresión pero es débil a tracción. Si el hormigón se fractura debido a altas tensiones de flexión, cuando no hay refuerzo presente el sistema colapsa sin aviso previo. Al igual que con refuerzo de acero tradicional, pueden transferirse altos esfuerzos y distribuirse en el hormigón utilizando fibras adecuadas. Las fibras que cumplen función de puenteo de fisuras, no solo mejoran el comportamiento post fisuración, sino también reducen la propagación de macro fisuras. Las fibras que atraviesan las fisuras y están ancladas en la pasta a ambos lados, “cosen” efectivamente ambos lados para prevenir que se sigan abriendo. Por lo tanto, el hormigón reforzado con fibras, ha aumentado su ductilidad y es capaz de absorber mayor energía en el área del diagrama de carga vs. deformación.



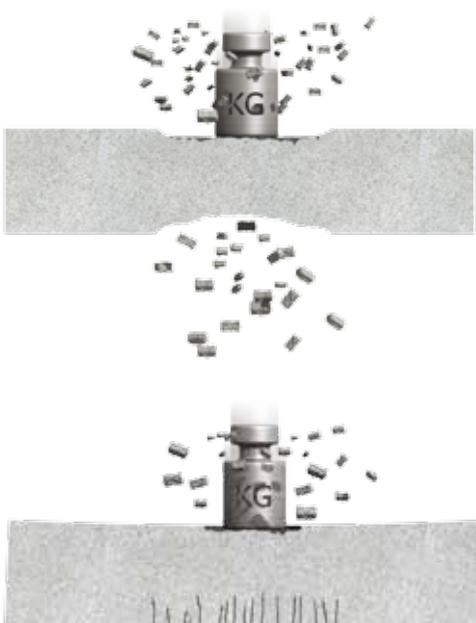
## DISTRIBUCIÓN DE FISURAS

Las tensiones de contracción en la etapa de endurecimiento de la fase cementante frecuentemente desatan fisuras visibles en el hormigón que son percibidas como fallas. Con la incorporación de fibras, las tensiones se dividen y distribuyen de tal manera que se previene la aparición de macro fisuras, mientras que la contracción se compensa con micro fisuración. Las microfisuras no reducen significativamente las resistencias, mejoran el aspecto superficial y pueden a su vez permitir la colmatación de las mismas. Por ende, la adición de fibras genera un incremento en la durabilidad.



## PROTECCIÓN IGNÍFUGA

El problema con el hormigón tradicional expuesto al fuego radica en que el agua presente en la matriz del hormigón se evapora en un muy corto período de tiempo debido al rápido aumento de temperatura. Esta transición al estado gaseoso causa un incremento de mil veces el volumen original de agua: cuanto más densa sea la matriz del hormigón y más alto el contenido de humedad, más alta será la presión del vapor de agua dentro del hormigón durante un incendio. Si la presión de agua no se puede reducir, comenzarán a producirse desprendimientos explosivos de hormigón. Esto comienza a suceder a los pocos minutos e inmediatamente se produce un extenso y profundo daño en la estructura. Si el refuerzo de acero queda expuesto, no tiene protección ante el fuego y su función estructural se pierde rápidamente. Agregar micro fibras de polipropileno, reduce parcial o totalmente los desprendimientos de hormigón, debido a su baja temperatura de fusión (160 °C). Esto quiere decir que las fibras comenzarán a derretirse casi de manera inmediata una vez que se inicia el incendio para crear un sistema capilar a través del cual el vapor de agua pueda salir del hormigón, sin generar incremento de presión dentro de la estructura.



## RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia al impacto o choque, la resistencia en la zona de contacto de las barras y las resistencias de los bordes, todas ellas pueden ser mejoradas significativamente por la adición de fibras específicas. Tanto las fibras sintéticas y más aún las de acero son adecuadas para tales fines. Una combinación de fibras de alto y bajo módulo de elasticidad y alta elongación a rotura ha probado ser beneficiosa. Se ha observado una mejora en la resistencia al impacto agregando fibras de acero y también fibras de polipropileno en cantidades de solo 0,1% en volumen. La resistencia al impacto también mejora considerablemente cuando la cantidad de fibras se incrementa.

# MANEJO - CÓMO UTILIZAR LAS FIBRAS

**PARA ALCANZAR EFECTO ÓPTIMO** y las características deseadas o performance del hormigón, se debe, además de respetar las buenas prácticas del hormigón, tomar en cuenta todos los factores potenciales influyentes en el uso de fibras. Los factores más críticos suelen ser la selección del tipo correcto de fibra, o combinación de las mismas (material y forma); cómo adaptar el diseño de mezcla de hormigón a la incorporación de fibras, incluyendo el sistema de dosaje de fibras en el proceso de elaboración y el tiempo de mezclado. Un colado correcto del hormigón con fibras y los métodos de acabado también deben aplicarse tanto en la fábrica de premoldeados como en la obra.



## CANTIDAD DE FIBRAS A UTILIZAR

Razones de uso - Objetivo	Tipo de fibra	Cantidad
Alta capacidad de carga	Macro fibra sintética Macro fibra metálica	4 - 8 kg 20 - 40 kg
Muy alta capacidad de carga	Macro fibra metálica	50 - 100 kg
Reducir fisuras por contracción en edad temprana (contracción plástica)	Micro fibra sintética	0.5 - 1 kg
Incremento de resistencia al fuego	Micro fibra sintética	2 - 3 kg
Incremento de resistencia al impacto	Micro fibra sintética	0.5 - 1 kg

## DISEÑO DE MEZCLA

Un buen y balanceado diseño de mezcla es clave para alcanzar una performance óptima de las fibras. Las fibras agregan gran superficie específica y por ende la mezcla debe ser ajustada para mantener los valores de trabajabilidad requeridos y también lograr una buena trabazón entre las fibras y la pasta. Esto incluye, la correcta elección de relación de contenido de material cementante y agua, la adecuada curva granulométrica, cantidad óptima de fibras, y otro tipo de agregados y aditivos. Un diseño de mezcla correctamente desarrollado influencia positivamente todos los pasos de la producción de un hormigón reforzado con fibras, incluyendo colocación y performance:

### Producción

- Que no se produzcan "erizos" de fibras
- Distribución de fibras homogénea
- Baja energía de mezclado
- Menor tiempo de mezclado

- Buena bombeabilidad
- Llenado completo de los cilindros de la bomba
- Baja presión de bombeo
- Buena proyección
- Menos rebote

### Performance

- Buena trabazón entre material ligante y las fibras
- Baja relación A/C

### Colado - Llenado

- Fácil paso a través de la parrilla que está en la tolva de carga de la bomba



### MÉTODO DE DOSIFICACIÓN

El método de dosaje y mezclado de fibras tiene una gran influencia en su óptima distribución en el hormigón. Las macro fibras generalmente se entregan en pequeños fajos hidrosolubles que se pueden dispersar durante el proceso de mezclado húmedo para asegurar que se distribuyan de manera homogénea. También se proveen fibras en pequeñas bolsas hidrosolubles, cuando el dosaje de fibras es bajo, de esta manera se evita la formación de “erizos”.



### TRANSPORTE Y COLADO

El sistema de colado del hormigón puede influenciar la distribución de fibras y contenido, como así también su distribución en la matriz. Algunos tipos de fibras causan mayor desgaste en los equipos y maquinarias, mientras que otros pueden generar bloqueos durante el bombeo en altas dosis. Por lo tanto, los procesos de transporte y el colado del hormigón también deben ser considerados durante el proceso de selección y evaluación del tipo de fibra.



### TIPO DE FIBRA

Los requerimientos generalmente definen el tipo de fibra y por ende las micro o macro fibras son especificadas de acuerdo al tipo de material, geometría y forma. La performance también se ve afectada por el proceso de producción del hormigón, su tratamiento superficial, acabado, etc., que también debe ser especificado.



### PROCESO DE MEZCLADO

Un proceso de mezclado inadecuado puede resultar en falta de homogeneidad en la distribución de las fibras en el hormigón, o dañar las fibras. Por lo tanto, la cantidad a agregar y el tiempo de mezclado deben ser especificados y cumplidos.



# LA ELABORACIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLIFICADA CON FIBRAS

**LAS FIBRAS EN EL HORMIGÓN PUEDEN SIMPLIFICAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN** tanto en la industria del premoldeado como para suministros permanentes en obra. Esto es debido a que la cantidad de armadura se ve reducida, y en algunos casos, inclusive se elimina completamente. Este tiempo que se ahorra en la colocación de la armadura, puede mejorar los costos. Respecto del incremento de la resistencia al fuego, las fibras han hecho el proceso mucho más simple, ya que no es necesario sobre diseñar las secciones transversales de hormigón ni colocar sistemas de protección ignífuga sobre el hormigón.



## TUNELERÍA Y MINERÍA

Al utilizar hormigón proyectado reforzado con fibras, el refuerzo convencional se puede prescindir cuando las presiones de roca son moderadas. Las operaciones de colocación de armadura que consumen mucho tiempo y detienen el flujo de avance, se eliminan. Al eliminar el refuerzo, el hormigón se proyecta sin generar "sombras" y se reduce notablemente el rebote. El resultado es la optimización de los procesos de aplicación y mejora en la calidad de la estructura.



## CONSTRUCCIÓN DE PISOS INDUSTRIALES

Además de la reducción de la armadura de acero, el uso de fibras puede aumentar significativamente la distancia entre juntas. También, como la capa de recubrimiento puede ser parcialmente omitida, el espesor de la losa puede ser también reducido. La correcta distribución de fibras en las esquinas de las losas también aumenta la protección de los bordes. Todos estos factores tienen un impacto positivo en la colocación y aumentan la eficiencia de la construcción.



## FUNDAMENTOS DE USO

Las micro fibras sintéticas previenen el desprendimiento del hormigón en caso de incendio. Los elementos estructurales de hormigón no necesitan ser sobre dimensionados y no son necesarios tratamientos ignífugos posteriores. El uso de fibras como elemento de protección ignífuga reduce significativamente los tiempos de producción y maximiza el espacio disponible.



# ESTANDARES Y ENSAYOS

**LOS DISTINTOS TIPOS DE USOS Y APLICACIONES** de hormigones reforzados con fibras requieren métodos de ensayos a medida de estos requerimientos, de manera que la performance específica y la funcionalidad requerida puedan ser ensayadas y confirmadas para que puedan ser utilizadas de manera segura en futuras especificaciones. Generalmente, estos métodos de ensayo están actualmente estandarizados internacionalmente a través de las regulaciones europeas (EN) y la American Society for Testing and Materials (ASTM) por ejemplo.

## HORMIGÓN Y MORTERO REFORZADO CON FIBRAS - NORMAS Y ENSAYOS

Método de ensayo	Normas	Descripción
Absorción de energía	ASTM C1550	Ensayo de panel redondo
	EN 14488-5	Ensayo de panel cuadrado
Tensión residual	EN 14651	Ensayo de viga
Resistencia al fuego	RWS	Máx. 1350 °C, 2 horas
	ISO 834	Empieza a baja temperatura pero aumenta permanentemente
	HC modificado	Máx. 1200 °C, 4 horas
Fisuración por contracción	ASTM C 1581-04	Método de ensayo para determinar contracción restringida
Resistencia al impacto	Varias normas locales	Ensayos de energía de impacto



Ensayo de panel redondo: ASTM C1550



Ensayo de panel cuadrado: EN 14488-5



Ensayo de viga: EN 14651

# CASOS DE ESTUDIO

**LOS HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS POSEEN MÚLTIPLES VENTAJAS** y son actualmente utilizados para diferentes funciones y requerimientos en todo el mundo. Este es particularmente el caso en tunelería y minería, la industria del hormigón premoldeado, pisos y todo tipo de proyectos que requiera protección ignífuga. El conocimiento técnico de Sika y su vasta experiencia práctica en diseño, elección y colocación de todas estas variantes de fibras en hormigones está presente en muchos proyectos exitosos en todos los continentes.

## MINA DE COBRE ELOISE, AUSTRALIA



En este proyecto de minería las macro fibras de polipropileno SikaFiber® Force fueron utilizadas en el hormigón proyectado, principalmente como soporte de excavación. Esta selección y uso les aseguró un flujo de trabajo eficiente y económico a medida que las excavaciones avanzaban.

## TERMINAL DE PETROLEO, ALEMANIA



Las macro fibras sintéticas SikaFiber® Force se utilizaron en combinación con el método 'White-topping' para reparar losas en un puerto de combustibles en Stuttgart. Las fibras se utilizaron para mejorar el comportamiento a fatiga del nuevo revestimiento de hormigón.

## TUNEL CARRETERO CALDEREANAS, ESPAÑA



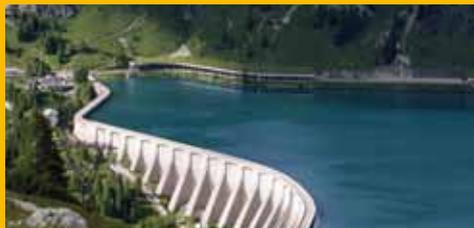
Las macro fibras sintéticas SikaFiber® Force fueron agregadas al hormigón proyectado para incrementar la ductilidad del revestimiento de hormigón. El hormigón proyectado reforzado de esta manera es un soporte de excavación más económico y eficiente.

## DOVELAS PARA TUNEL DE METRO, USA



En el proyecto de metro de San Francisco, las micro fibras SikaFiber® se utilizaron en una dosis de 1,2 kg de fibra por m<sup>3</sup> de hormigón para prevenir el desprendimiento del hormigón en caso de incendio en el túnel.

# SIKA, EL MÁS AMPLIO RANGO DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN



**IMPERMEABILIZACIÓN**



**HORMIGÓN**



**REPARACIONES Y REFUERZO**



**PEGADO Y SELLADO**



**SISTEMAS DE PISOS**



**CUBIERTAS**

## ¿QUIÉNES SOMOS?

Sika es una compañía activa mundialmente en el negocio de los productos químicos para la construcción. Tiene subsidiarias en más de 97 países alrededor del mundo. Sika es líder mundial en el mercado y la tecnología en impermeabilización, sellado, pegado, aislamiento, reforzamiento y protección de edificaciones y estructuras civiles. Sika tiene más de 17.000 empleados en el mundo y por esto, está idealmente posicionada para apoyar el éxito de sus clientes.

Rigen nuestras Condiciones Generales de Venta más recientes.  
Sírvase consultar la Hoja de Datos de Producto antes de cualquier uso y procesamiento.



**SIKA ARGENTINA S.A.I.C.**  
Juan B. Alberdi 5250  
B1678CSI · Caseros  
Pcia. Buenos Aires · Argentina

**Contacto**  
Teléfono: 011 4734 3500  
info.gral@ar.sika.com  
www.sika.com.ar

**CONSTRUYENDO CONFIANZA**

