

ARTÍCULO TÉCNICO

DISEÑO Y PROTECCIÓN EN CASO DE INCENDIO DE LOS REFUERZOS CON MATERIALES COMPUESTOS SIKA WRAP Y SIKA CARBODUR

MARZO/2019 / VERSION 1 / SIKA, S.A.U. / RAMÓN MARTÍNEZ

DEPARTAMENTO TÉCNICO

ÍNDICE

1	OBJETO	3
2	INTRODUCCION	3
3	CARGAS Y RESISTENCIAS EN SITUACIÓN DE FUEGO	3
4	PROTECCIÓN DEL CFRP EN CASO DE INCENDIO	5
5	INSPECCIÓN Y PRUEBAS	5
6	RESISTENCIA AL FUEGO	6
7	REACCIÓN AL FUEGO	8
8	PREGUNTAS FRECUENTES	8
9	NOTA LEGAL	12

ARTÍCULO TÉCNICO
DISEÑO Y PROTECCIÓN EN CASO DE INCENDIO DE
LOS REFUERZOS CON MATERIALES COMPUESTOS
SIKA WRAP Y SIKA CARBODUR
Marzo/2019, Version 1

España
Departamento Técnico

1 OBJETO

El diseño del refuerzo estructural con materiales compuestos a base de fibra de carbono CFRP en situaciones de incendio siempre ha sido una cuestión de duda para mucha gente que trata con este campo de aplicación. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la protección de los laminados de fibra de carbono puede ser innecesaria, ya que no se requieren medidas de seguridad adicionales. Este supuesto incluye la mayoría de las situaciones que se dan en la realidad. Sin embargo, y a pesar de estar bien cubierto por la normativa existente al respecto, este tema es una fuente frecuente de discusiones y discrepancias.

Con este artículo se pretende aclarar cuál debe ser el criterio que deben utilizar los calculistas para abordar esta situación.

2 INTRODUCCIÓN

El diseño de una estructura se centra en garantizar la resistencia necesaria bajo las cargas esperadas. Por razones de seguridad, los diferentes códigos tienen en cuenta unos coeficientes de seguridad adicionales, de modo que el cálculo final utiliza magnitudes de carga más altas que las realmente esperadas, y resistencias de los material más bajas que las reales. De esta manera, las situaciones extraordinarias que pueden exceder las condiciones comunes esperadas se tienen igualmente en cuenta.

Cargas de diseño

Las cargas se mayoran:

x 1.5 para cargas variables.

x 1.35 para cargas permanentes.

Resistencia de diseño

Las resistencias se minoran:

/ 1.5 para el hormigón.

/ 1.15 para el acero.

Como consecuencia de esto, las estructuras deben diseñarse de modo que tengan necesariamente una resistencia sustancialmente mayor que la necesaria para soportar las cargas esperadas durante la vida de servicio. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias, estas condiciones no pueden cumplirse como consecuencia de una resistencia real más baja que la esperada, o por la existencia de cargas más altas que las estimadas inicialmente

En esas circunstancias, se debe utilizar un método de refuerzo adecuado, de modo que se garantice el margen de seguridad estructural requerido por la normativa.

3 CARGAS Y RESISTENCIAS EN SITUACIÓN DE FUEGO

Los sistemas que utilizan métodos de refuerzo con CFRP se usan ampliamente hoy en día como una de las alternativas preferidas por los calculistas y aplicadores, ya que implican soluciones extremadamente rápidas de aplicar y eficaces en la mayoría de los casos.

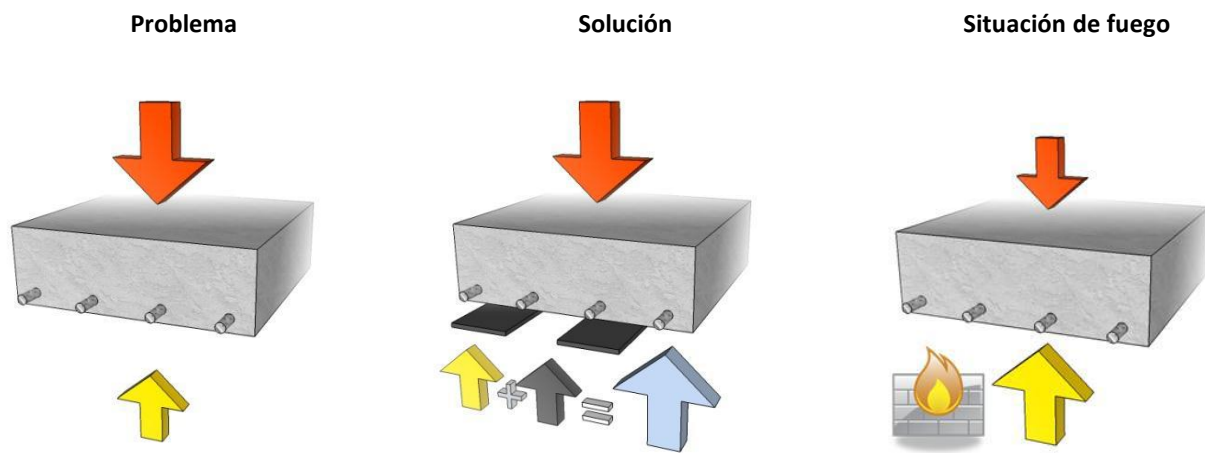
Sin embargo, estos sistemas soportan esencialmente las cargas que se transfieren a través de adhesivos utilizados para la colocación. Por lo tanto, en aquellas situaciones en las que se puede esperar un calentamiento rápido de la resina de unión, la integridad de la solución de CFRP se limita a aquellas temperaturas por debajo del punto de reblandecimiento del adhesivo.

Por eso, en una situación de incendio, la capacidad mecánica del laminado CFRP no protegido se perderá en los primeros minutos, por lo que las cargas existentes deben ser soportadas por la estructura de hormigón armado original, sin reforzar. Aparentemente, esta situación parece comprometer la estabilidad del elemento estructural. Pero, en la mayoría de los casos, esto no es así.

Las diferentes normativas existentes tienen en cuenta la verificación en caso de incendio, en el proceso de cálculo. Sin embargo, las cargas esperadas en ese caso se reducen notablemente, ya que no se esperará una parte sustancial de las cargas activas (cargas variables) durante el incendio. Este hecho está claramente definido por la normativa.

Cargas de diseño	Servicio, cargas no mayoradas (por ejemplo, combinación de cargas cuasi permanentes, opción 1) Porcentaje reducido de las cargas de diseño (por ejemplo, 70%, opción 2)
Resistencia de diseño	Resistencias reales (características) para hormigón y acero, sin minorar

Estos dos cambios implican que, en una situación de incendio, la estructura proporcionará una mayor resistencia de cálculo contra las cargas esperadas, que se reducen igualmente. Por lo tanto, en la mayoría de las situaciones, la estructura original sin refuerzo de CFRP puede soportar cargas sin ningún refuerzo adicional, por lo que la pérdida de CFRP no tiene ninguna consecuencia.



Las cargas de diseño exceden la fuerza de diseño del elemento

La contribución del CFRP aumenta la resistencia del elemento. Las cargas

Se pierde el CFRP no protegido. Solo una parte de las cargas de diseño se

de diseño pueden ser soportadas por el elemento reforzado

tienen en cuenta para el cálculo, y el elemento de hormigón armado exhibe una mayor resistencia debido a la ausencia de factores de seguridad que minoren las resistencias (de acuerdo con las regulaciones locales).

Esta verificación debe realizarse como parte del proceso de cálculo. El nuevo software de cálculo Sika® Carbodur® incluye una herramienta automática para ello:

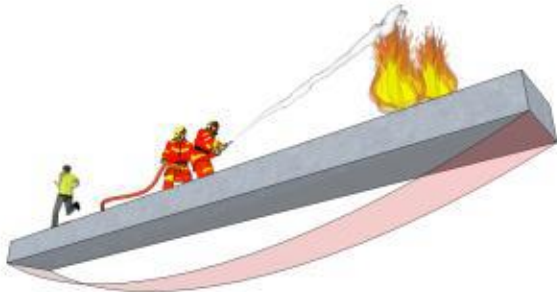
Check Fire situation

Expected load in case of fire ($M_{fire,d}$)

- 0,00 kNm $0,7 \times M_{s,d}$
- 0,00 kNm Service load $M_{ser,qp,d}$
- 0,00 kNm User defined ($0 < M_{fire,d} < M_{s,d}$)

Resistance of the unstrengthened beam/slab in case of fire

$M_{fire,d} <$ Unstrengthened beam/slab resistance in case of fire. No fire protection is necessary for the CFRP. $M_{fire,d}$ 0,00 kNm



Current strength: 70,91 kNm

The diagram shows a 3D perspective of a grey beam with a red curved line underneath representing its current strength. On top of the beam, there is a fire and two firefighters in orange gear. A person in a yellow vest is also visible. The text above the diagram states that the fire load is less than the beam's resistance, so no fire protection is needed for the CFRP.

4 PROTECCIÓN DEL CFRP EN CASO DE INCENDIO

únicamente en algunos casos, poco frecuentes, la contribución mecánica del refuerzo de CFRP es absolutamente necesaria en situación de incendio. Estos casos suelen producirse en aquellas situaciones en las que la contribución del CFRP supone una parte significativa de la resistencia del elemento (el CFRP aumenta significativamente la resistencia original).

Bajo esta circunstancia, se debe conseguir una protección contra el fuego adecuada. Esa protección puede estar compuesta por morteros intumescentes (Sikacrete® 213F) o paneles específicos que aseguren que la temperatura en la resina de unión se mantenga por debajo del punto de reblandecimiento. Esto usualmente involucra un espesor

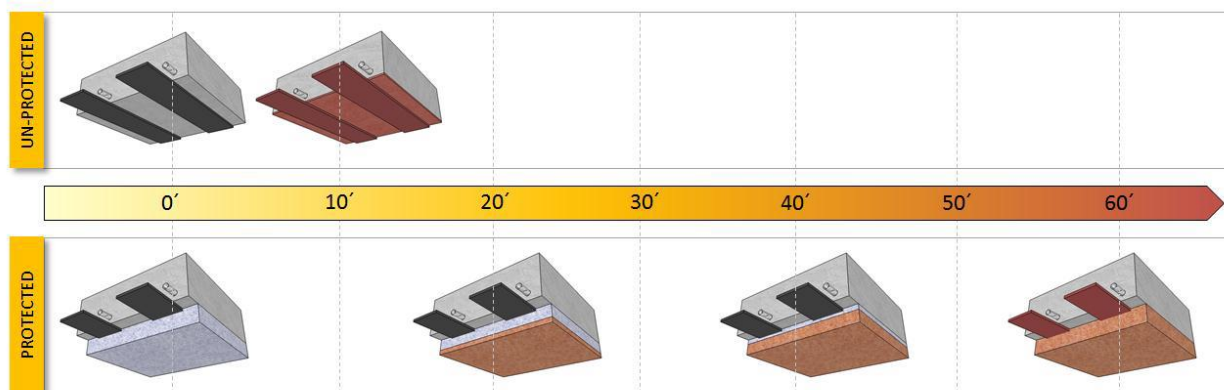
de protección bastante grande.

Las características del Sikacrete® 213F son:

- Mortero de protección contra incendios, a base de cemento, modificado con vermiculita.
- Aplicación por proyección o a mano.
- No contribuye a la formación de humo o humos tóxicos.
- Espesor típico (protección CFRP): 40 mm-60 mm (*).
- Protección contra el CFRP: 45-60 minutos (*).
- Calificación de fuego del elemento protegido:> 4hr (*).

(*) Estos valores pueden variar significativamente según las características del elemento de hormigón armado y las cargas.

Se debe tener en cuenta que muchas soluciones comunes para la protección estructural en caso de incendio, basadas en capas finas de mortero o recubrimientos intumescentes, son a menudo inútiles por insuficientes para los laminados CFRP, ya que se basan en espesores con capacidades de protección que no son efectivas para mantener la temperatura del adhesivo del CFRP por debajo del punto crítico.

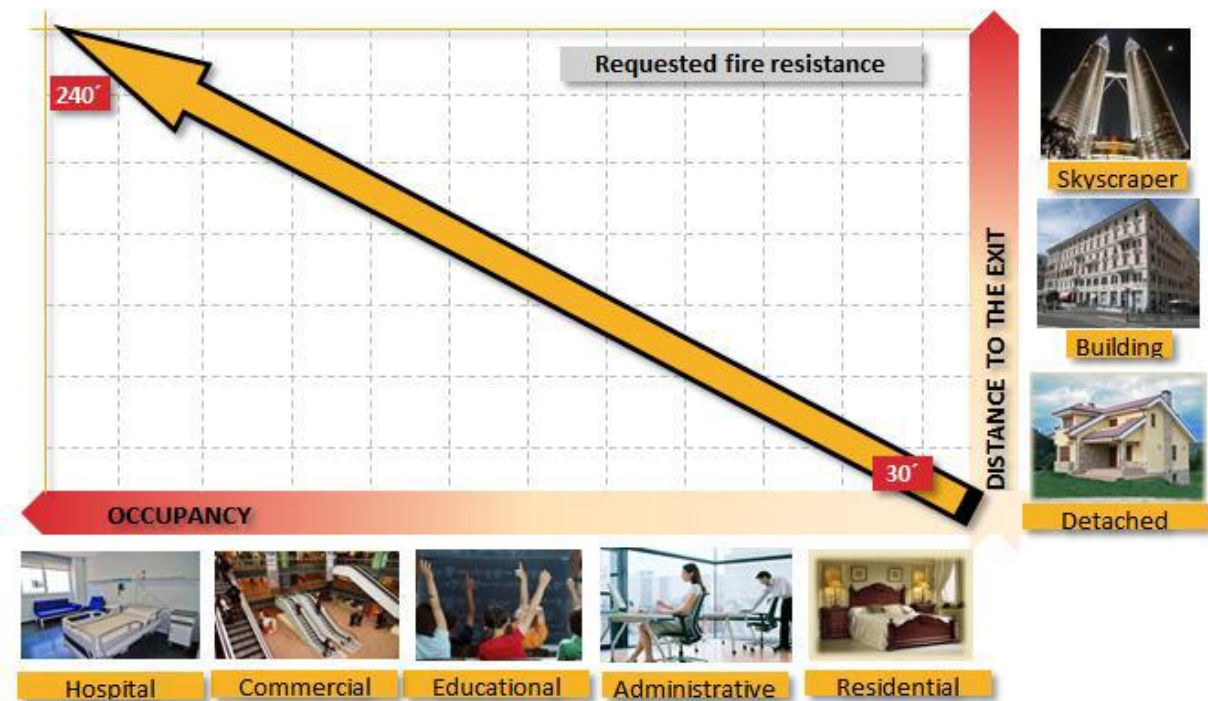


Incluso en el caso de utilizar materiales de protección aplicados en un espesor considerable, la protección esperada se limitará a un período de tiempo limitado (por ejemplo, 45-60 minutos). Una protección a largo plazo para el refuerzo de CFRP (120 a 240 minutos) no es factible a menos que se proporcionen soluciones extremadamente costosas o complejas. Las protecciones de CFRP a corto plazo no implican una baja resistencia al fuego para el elemento estructural.

5 RESISTENCIA AL FUEGO

En algunas situaciones, el elemento estructural debe tener cierta resistencia al fuego en caso de incendio. Esta resistencia al fuego está determinada por el tiempo (30, 60, 90, 120, ... minutos) en que se mantenga la capacidad resistente del elemento.

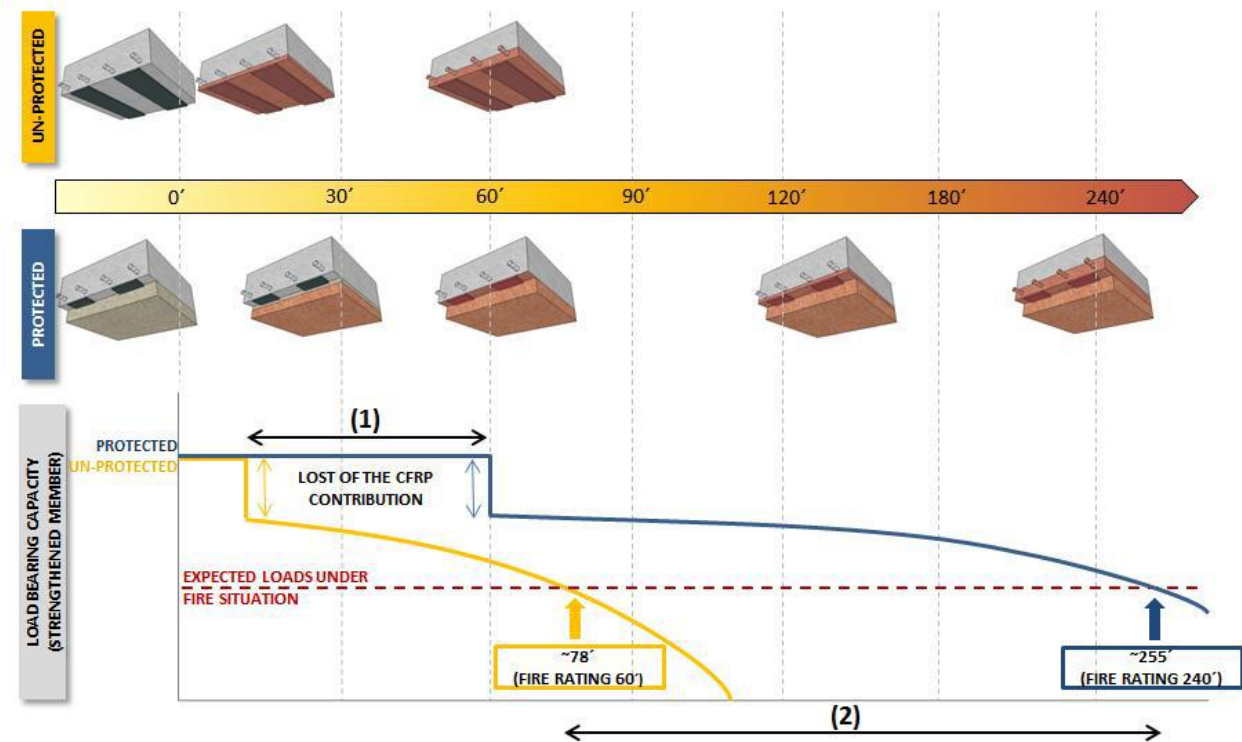
Este tiempo se considera el necesario para la evacuación del edificio. Por lo tanto, la resistencia al fuego solicitada de acuerdo con las normativas dependerá esencialmente de la ocupación y la distancia a la salida, y no de los problemas estructurales.



La resistencia al fuego se refiere al comportamiento del elemento estructural (por ejemplo, una columna, viga) o parte de una estructura, y no a sus materiales constituyentes de manera independiente (hormigón, acero o CFRP).

Por lo tanto, un error común asociado al uso de laminados de CFRP adheridos implica que la resistencia al fuego del CFRP debe cumplir con el tiempo de resistencia solicitado para el elemento, lo cual no es correcto (por ejemplo, una columna clasificada con resistencia al fuego de 90 minutos debe poder asumir el valor esperado de cargas durante el tiempo indicado, pero la capacidad de carga individual del hormigón, acero y CFRP a lo largo de ese período de tiempo no se restringe individualmente).

Como se espera que la contribución del CFRP se pierda prematuramente durante un incendio, la resistencia del elemento dependerá básicamente de los otros dos componentes (hormigón y acero), que disminuirá gradualmente de acuerdo con su temperatura. Por lo tanto, incluso cuando el material de protección solo proporcione una protección adicional limitada al CFRP, su efectividad con respecto a la protección del hormigón y el acero es muy importante. Por ello, la clasificación de resistencia al fuego del elemento puede mejorarse considerablemente si se protege dicho elemento.



6 REACCIÓN AL FUEGO

Además de la Resistencia al Fuego, otro tema importante es la llamada Reacción al Fuego, que es la medida de cómo un producto o sistema contribuirá a la generación de humo y al desarrollo y la propagación del incendio, particularmente en las etapas muy tempranas de un incendio cuando la evacuación es crucial. La Reacción al Fuego no tiene relación con el desempeño estructural del elemento.

7 PREGUNTAS FRECUENTES

¿Se debe proteger necesariamente el refuerzo con materiales compuestos CFRP contra el fuego?

No. Solo en aquellas situaciones en las que la contribución mecánica del CFRP sea estrictamente necesaria bajo la combinación (no mayorada) de cargas correspondiente a la situación de incendio. El CFRP no se tiene en cuenta para este cálculo, pero esta verificación preliminar debe realizarse para verificar la idoneidad de la solución de CFRP.

Para un refuerzo de CFRP no protegido en una viga / columna, ¿cuál es la resistencia al fuego esperada del elemento?

ARTÍCULO TÉCNICO
DISEÑO Y PROTECCIÓN EN CASO DE INCENDIO DE
LOS REFUERZOS CON MATERIALES COMPUESTOS
SIKA WRAP Y SIKAR CARBODUR
Marzo/2019, Version 1

España
Departamento Técnico

En muchos casos, el elemento puede exhibir una resistencia al fuego significativa (hasta 4 horas), incluso cuando se pierde el CFRP en caso de incendio en los primeros minutos. La resistencia al fuego del elemento se evalúa de acuerdo normativa pertinente (por ejemplo, Eurocódigo 2 parte 1-2) relativa a elementos de hormigón armado en caso de incendio.

Normalmente, ese Código comprende 3 opciones alternativas que pueden considerarse para la determinación de la resistencia al fuego:

a) Cálculo detallado, teniendo en cuenta la reducción progresiva de las resistencias para el hormigón y el acero en toda la situación de incendio. Se puede proporcionar un cálculo preciso, independientemente de las características del elemento, pero es un cálculo complejo

b) Cálculo simplificado, basado principalmente en la geometría y el tamaño del elemento, las características del concreto y el espesor de la cubierta de concreto alrededor de las barras de acero. Es un cálculo simple para la mayoría de los elementos de hormigón armado, pero sólo es factible solo en aquellos casos en los que el elemento cumple todas las condiciones predeterminadas para la opción simplificada (dimensiones, recubrimiento de hormigón, etc.)

c) Certificación por prueba del elemento de hormigón armado. No son necesarios los cálculos. Esta opción es particularmente interesante en el caso de determinar el rendimiento de un elemento protegido por cierta solución protectora. La certificación solo es válida para aquellos elementos de hormigón armado que cumplan con las mismas características (geometría, cubiertas, materiales de protección, ...) que los evaluados previamente en la prueba.

En aquellas situaciones en que la contribución mecánica del CFRP es necesaria en una situación de incendio, ¿cuál es la máxima resistencia al fuego que podemos proporcionar para el CFRP?

En aquellos casos en los que el elemento no reforzado no puede soportar la combinación de cargas sin mayorar, en caso de incendio, es necesario proteger el laminado CFRP para mantener su contribución mecánica. En este caso, la protección máxima alcanzable para el CFRP se puede estimar en 60 minutos (con protección de Sikacrete® 213F). Sin embargo, el Sikacrete® 213F aún puede proteger los componentes restantes del elemento RC (hormigón y acero) más allá de este punto.

¿Cómo puedo determinar si el CFRP debe estar protegido contra incendios?

Esto es parte del proceso de cálculo. Este proceso debe verificar si la resistencia correspondiente al elemento no reforzado (existente) excede las cargas esperadas relacionadas con la situación de incendio (no hay CFRP involucrado en esta verificación, por lo tanto, el cálculo sigue los procedimientos estándar del Eurocódigo 2).

¿Existe alguna certificación o prueba sobre el desempeño de la protección del CFRP?

A diferencia de otros materiales comúnmente utilizados para estructuras de construcción (madera, hormigón, acero, etc.), no existe un código o prueba para determinar el rendimiento de las protecciones en el caso de laminados de CFRP adheridos. Esto no permite la posibilidad de calcular el espesor necesario para el material protector en cada situación.

Alternativamente, algunas pruebas en elementos reforzados son factibles, que pueden evaluar la clasificación de resistencia al fuego para el elemento protegido (hormigón armado + CFRP externo) en caso de incendio. Esas pruebas cubren algunas combinaciones específicas de productos, capas, clases de hormigón, tamaños, etc., por lo que no son válidas para los elementos que tienen dimensiones o características diferentes a los probados. Algunas certificaciones que comprenden las protecciones con Sikacrete® 213F para el SikaWrap® y Sika® CarboDur® se han realizado siguiendo esta filosofía, proporcionando una clasificación de resistencia al fuego de 4 horas para el elemento de hormigón armado reforzado y protegido (el rendimiento del CFRP no se evalúa independientemente del resto del elemento del RC). Algunos ensayos realizados son los siguientes:

Underwriters Laboratories of Canada, archivo BXUVC.N813: viga reforzada con Sika® CarboDur® y SikaWrap® 103C / 230C.

Underwriters Laboratories of Canada, archivo BXUVC.N814 - viga reforzada con SikaWrap® 103C / 100G / 430G.

Underwriters Laboratories of Canada, archivo BXUVC.X826 - columna reforzada con SikaWrap® 103C.

¿Durante cuánto tiempo puedo proteger el CFRP en caso de incendio?

Como se indicó anteriormente, no existe ningún estándar o código específico para determinar la durabilidad de los laminados CFRP en caso de incendio. La protección mediante 40-60 mm del mortero Sikacrete® 213F puede mantener la mayor parte de las prestaciones del adhesivo durante un período de tiempo entre 45 y 60 minutos. Esos valores se basan en las temperaturas resultantes correspondientes a las pruebas reales, que comprenden curvas de fuego aprobadas. La clasificación de fuego de todo el elemento debe calcularse independientemente.

En ese caso, ¿cómo puedo obtener una columna con clasificación de resistencia ante el incendio de 4 horas cuando se refuerza mediante CFRP?

La clasificación de fuego para un elemento de hormigón armado depende esencialmente de su tamaño y el recubrimiento de hormigón de las barras de acero. La presencia del CFRP, incluso cuando está protegido contra incendios, no influye en la capacidad de resistencia al fuego del elemento más allá de los primeros 45-60 minutos. Por lo tanto, la protección debe centrarse en el hormigón y el acero, ya que incluso una capa protectora reducida proporcionará una mejora significativa.

El mortero Sikacrete® 213F, cuando se aplica sobre la superficie del elemento expuesto al fuego (no solo en el laminado CFRP) puede proporcionar una clasificación de resistencia en caso de incendio de más de 4 horas (debido a la protección suministrada al refuerzo de hormigón y acero), incluso cuando el CFRP no proporcionará ninguna contribución a la resistencia más allá de los primeros 45-60 minutos.

¿Puede Sika® dar la Resistencia al Fuego esperada en un element de hormigón armado reforzado con CFRP?

El software Sika® CarboDur® incluye una herramienta para determinar si el CFRP se debe proteger en caso de incendio. En cualquier caso, no se puede estimar la resistencia al fuego del elemento (p.e. 120 minutos) pues no está relacionado con las soluciones de CFRP, sino que está regulado por la normativa general de hormigón armado (p.e. Eurocódigo 2).

¿Cuáles son las diferentes posibilidades?

Suposición	Resistencia al fuego (tiempo) del elemento de hormigón armado no reforzado	Acción	Clasificación de resistencia al fuego alcanzable
CFRP no es necesario en caso de incendio	El elemento cumple con la resistencia necesaria al fuego (por ejemplo, 90')	No se necesita ninguna medida adicional	15-240 minutos, según las características del elemento R
CFRP no es necesario en caso de incendio	El elemento no cumple con la resistencia al fuego necesaria (por ejemplo, 90')	Protección para el elemento de hormigón armado	15-240 minutos, según las características del elemento RC y la protección complementaria
CFRP es necesario en caso de incendio	El elemento no puede cumplir la resistencia necesaria al fuego.	Protección Sikacrete® 213F para los elementos de CFRP y hormigón armado	≤ 60 minutos

¿Puedo utilizar un revestimiento intumescente para proteger el CFRP?

No. Los revestimientos intumescentes se basan en la capacidad del revestimiento de hinchar como resultado de su exposición al calor. Este hinchamiento se produce a temperaturas altas, a las cuales el adhesivo ya se habrá deteriorado.

Si un mortero de protección para estructuras de hormigón armado da una protección de 240 minutos con una capa de 20mm. ¿Es esto válido también para el CFRP?

No. El hormigón y el acero mantienen la mayor parte de sus propiedades mecánicas hasta altas temperaturas (p.e. 400° C). Por lo tanto es relativamente sencillo mantener la temperatura del hormigón por debajo de esa temperatura por medio de un espesor de capa bajo. Sin embargo, la máxima temperatura para el CFRP es mucho más restrictiva, y una capa de 20mm protegerá el CFRP por poco tiempo (10-15 minutos?).

¿Cuál es la temperatura máxima admisible para el CFRP en caso de incendio?

Los filamentos de fibra de carbono son capaces de resistir altas temperaturas. Los productos pultruidos (por ejemplo, laminados Sika Carbodur®). También tienen una notable resistencia térmica (> 100°C) debido al proceso de fabricación.

Por lo tanto, el rendimiento del sistema CFRP estará limitado por el ablandamiento del adhesivo (Sikadur® XXX) utilizado para la adherencia y / o saturación de CarboDur® / SikaWrap®. La mayoría de las directrices existentes sobre el diseño de soluciones de refuerzo de CFRP toman la Tg (temperatura transición vítrea) como el valor límite a considerar. Esa información se puede obtener la Hoja de Datos de Producto del adhesivo.

Sin embargo, hay que considerar que la Tg puede variar significativamente debido a las condiciones de curado durante la aplicación o como consecuencia de los parámetros ambientales a largo plazo.

***Necesitamos proporcionar una solución con respecto a la rehabilitación sísmica de una estructura de edificio.
¿Necesitamos proteger el CFRP contra el fuego?***

No. La necesidad de reforzar con CFRP se limita a las cargas que actúan como consecuencia de las aceleraciones sísmicas, que puede ocurrir durante unos pocos minutos en una década o un siglo. Sin embargo, la posibilidad de experimentar un incendio y un terremoto a la vez es casi despreciable. Se puede esperar una situación de incendio después del terremoto, cuando el CFRP no es ya necesario, y la estructura puede soportar las cargas esperadas, incluso si el CFRP se ha perdido debido al incendio

Un sistema de protección pasiva contra incendios (por ejemplo, Sikacrete® 213F) garantiza que la estructura no se dañará en caso de incendio, ¿verdad?

No. Simplemente garantiza que el elemento estructural no colapsará durante la evacuación del edificio, incluso cuando el hormigón y el acero puedan resultar dañados. Si la situación de incendio continúa más allá de este punto, la estructura se dañará significativamente y puede incluso colapsarse, independientemente de la protección.

La protección pasiva contra incendios para el CFRP (por ejemplo, Sikacrete® 213F) garantiza que el refuerzo del CFRP no se dañará en caso de incendio, ¿verdad?

Esto se puede esperar solo en aquellos casos en que la temperatura en el adhesivo no exceda una temperatura moderada (60-70º C máx.), lo cual no es realista a menos que en el caso de incendios pequeños que se extingan en un corto período de tiempo.

Por lo tanto, en el caso de incendios significativos, el sistema CFRP se dañará finalmente incluso cuando esté protegido, y debe reemplazarse posteriormente

¿Los puentes siguen las mismas restricciones que los edificios con respecto a la protección de CFRP?

Normalmente no. Como se indicó, la normativa contra incendios de la estructura está orientada principalmente a la evacuación de las personas. A diferencia de las estructuras de edificación, donde la evacuación puede durar varias horas, la clasificación de resistencia al fuego para puentes puede no estar regulada o incluso no ser necesaria, ya que la evacuación de las estructuras del puente generalmente es simple.

8 NOTA LEGAL

La información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y el uso final de los productos Sika, se dan de buena fe basándose en los conocimientos y experiencia actuales de Sika cuando se almacenan, manipulan y aplican correctamente en condiciones normales de conformidad con Las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, los sustratos y las condiciones reales del sitio son tales que no se puede inferir ninguna garantía con respecto a la comerciabilidad o aptitud para un propósito particular, ni ninguna responsabilidad derivada de cualquier relación jurídica de esta información, de cualquier recomendación escrita, o de cualquier otro consejo ofrecido. El consumidor del producto debe probar la idoneidad de los productos para la aplicación y propósito previstos. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los

derechos de propiedad de terceros deben ser observados. Todas las disposiciones son aceptadas sujeto a nuestras condiciones actuales de venta y entrega. Los usuarios siempre deben referirse al número más reciente de la Hoja de Datos del Producto local para el producto en cuestión, copias de las cuales serán suministradas a petición.

ARTÍCULO TÉCNICO
DISEÑO Y PROTECCIÓN EN CASO DE INCENDIO DE
LOS REFUERZOS CON MATERIALES COMPUESTOS
SIKA WRAP Y SIKA CARBODUR
Marzo/2019, Version 1

España
Departamento Técnico