



# REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL MATERIALES COMPUESTOS FRP Sistema Sika® CarboDur®

(PLATINAS Y TEJIDOS DE FIBRA DE CARBONO)

CONSTRUYENDO CONFIANZA





## EFICIENCIA EN LA CUAL CONFIAR

Sika le proporciona un conocimiento profundo a través de nuestra pericia técnica del “estado del arte” y la experiencia práctica global para producir soluciones a medida para la reparación, renovación y mejora mediante el reforzamiento de sus edificios existentes y estructuras de ingeniería civil. Esto incluye productos totalmente compatibles y sistemas integrados para adaptarse a casi todos los requisitos del proyecto y del sitio. El asesoramiento y asistencia al cliente de Sika es inigualable, desde el concepto hasta el diseño y detalle, hasta la instalación práctica y la realización exitosa en el lugar. Todo esto se basa en más de 100 años de experiencia en grandes y pequeños proyectos en todo el mundo.

# CONTENIDO

**04** Introducción

---

**05** Materiales Compuestos - **FRP** (Fiber Reinforced Polymer), **Sistema Sika®CarboDur®**

---

**10** Sistema **Sika®CarboStress®**

---

**12** Aplicación en Edificios  
Industriales y de Apartamentos

---

**13** Aplicación en Puentes

---

**14** Reseña de las platinas de Carbono Postensadas

---

**16** Software **Sika®CarboDur®**

---

# INTRODUCCIÓN

Todos conocemos los daños que sufren las estructuras cuando ocurren los terremotos. Las edificaciones antiguas son las más vulnerables ya que fueron diseñadas para soportar solamente las cargas verticales pero no para soportar las cargas laterales producidas por un sismo.

En Colombia las edificaciones más vulnerables son aquellas diseñadas y construidas antes de 1984 cuando se publicó el primer código de diseño y construcción sísmo resistente (CCCSR-84), el cual se actualizó en 1998 y en 2010 con la aparición de la actual normativa sísmo resistente NSR-10. Antes de 1984 las edificaciones se diseñaban solo para soportar las cargas verticales producidas por el peso propio y cargas permanentes (carga muerta) y el de los enseres y personas dentro de la edificación (carga viva). Como no se tuvieron en cuenta las cargas de sismo, las estructuras de concreto quedaron con secciones más pequeñas de vigas y columnas, y con menor cantidad de acero de refuerzo en zonas de grandes esfuerzos como son los nudos. Son muchas las estructuras en Colombia que están desactualizadas estructuralmente y son muy vulnerables de sufrir daños graves con un terremoto.

Existen varios métodos de reforzamiento para proteger a las estructuras de los movimientos laterales que les imponen los terremotos, como:

1. Los arriostramientos metálicos.
2. Pantallas en concreto reforzado.
3. Encamisado en concreto reforzado.
4. Encamisados en acero.
5. Platinas metálicas.
6. Adición de perfiles metálicos
7. Contrafuertes.
8. Postensionamiento externo.
9. Disipadores de energía.
10. Aislamiento sísmico.
11. Materiales compuestos FRP (platinas/tejidos de fibra de carbono).

Algunos métodos se usan para controlar el desplazamiento lateral de las estructuras producido por el sismo y otros para absorber los esfuerzos en los elementos estructurales (vigas, columnas, muros); estos esfuerzos pueden ser flexiones, cortantes o torsiones.

Algunos métodos son más invasivos que otros y modifican drásticamente la apariencia y la estética de las estructuras.

Los ingenieros y arquitectos prefieren métodos de reforzamiento que no se vean, que se puedan esconder entre los muros y que en lo posible no modifiquen las dimensiones de vigas y columnas. No siempre se puede lograr esto, pero en las últimas décadas se han inventado materiales de bajo espesor y gran resistencia a la tensión que sirven para este propósito, como son los materiales compuestos FRP (platinas y tejidos de fibra de carbono), **Sistema Sika® CarboDur®**.

Siendo Colombia un país que ha sufrido durante toda su historia los estragos causados por los terremotos, este documento trata del reforzamiento de estructuras para soportar las cargas de sismo, utilizando los materiales compuestos FRP, **Sistema Sika® CarboDur®**, teniendo en cuenta los últimos avances e investigaciones hechos al FRP.

# MATERIALES COMPUESTOS FRP

## Sistema Sika®CarboDur®

El sistema de reforzamiento estructural con materiales compuestos FRP, **Sistema Sika®CarboDur®**, es uno de los métodos de reforzamiento más importantes en la actualidad en todo el mundo. La sigla FRP proviene del inglés **Fiber Reinforced Polymer (Polímero Reforzado con Fibras)** y está conformado por fibras de gran resistencia a la tensión que se unen con resinas sintéticas (usualmente epóxicas) para conformar un laminado o material compuesto y obtener un sistema de reforzamiento muy eficiente.

Son tres las características que han hecho famoso al FRP, a saber:

**A. Gran resistencia a la tensión:** en el caso de las platinas de fibra de carbono, se ven resistencias de aproximadamente 6 veces más que el acero convencional usado en construcción.

**B. Bajo peso:** Aproximadamente entre 4 y 6 veces más liviano que el acero, lo cual influye en la facilidad y tiempo final de instalación, costos de la instalación y tiempos de transporte.

**C. No se corroen:** El FRP es un material sintético que no se corroe, incluso se puede aplicar en estructuras ubicadas en zonas costeras en donde el ataque de las sales (cloruros) al acero de refuerzo es muy agresivo.

El **Sistema Sika®CarboDur®** lo componen los siguientes materiales:

- Platinas de fibra de carbono, **Sika®CarboDur®**.
- Tejidos de fibra de carbono, **SikaWrap®**.
- Cordón de fibra de carbono, **SikaWrap® FX-50C**.
- Platinas de carbono postensadas, **Sika®CarboStress®**.

Los materiales compuestos FRP se pueden clasificar en dos tipos: laminados prefabricados y laminados manuales.

Las platinas de carbono **Sika®CarboDur®** pertenecen al grupo de laminados prefabricados, ya que se elaboran en fábrica uniendo las fibras de carbono y la resina epóxica (70% de fibra de carbono y 30% de resina epóxica) en un molde y dejando que se endurezca la resina para formar el laminado. Vienen en diferentes anchos (5 cm y 10 cm por ejemplo), en rollos de longitudes de 100m y 250m, y con espesores de 1.2mm, ó 2.6 mm. Pueden tener una resistencia última a tensión de 28.000 kg/cm<sup>2</sup> (unas 6 veces más que el acero convencional usado en construcción). Se adhieren al elemento a reforzar con un adhesivo epóxico (**Sikadur®30**) especialmente diseñado para transmitir los esfuerzos del concreto a la platina, con la consistencia adecuada para sostener a la platina de carbono en aplicaciones sobre cabeza. **Ver la foto 1.**



**Foto 1.** Colocación de platinas de fibra de carbono **Sika®CarboDur®** en las vigas en voladizo del techo de una estructura (estadio de fútbol) para mejorar su desempeño sísmico.

Los tejidos de fibra de carbono **SikaWrap®** que se combinan con la resina epóxica en la obra pertenecen al grupo de laminados manuales, en los que el tejido se impregna con la resina epóxica **Sikadur®301** y se adhiere al elemento a reforzar (previamente imprimado con la resina). Si hay que envolver un elemento estructural como una columna o viga es preferible la opción de los laminados manuales. Si se desea aumentar la resistencia a esfuerzos cortantes de vigas y columnas es común envolverlos con un tejido de fibra de carbono **SikaWrap®** impregnado con una resina epóxica (**Sikadur 301**). Los tejidos de fibra de carbono **SikaWrap®**



**Foto 2.** Reforzamiento de las columnas en un puente con un laminado de fibra de carbono **SikaWrap®**, para mejorar su comportamiento sísmico.

vienen con un ancho de 50cm y longitudes de 50 y 100m. Los tejidos de fibra de carbono pueden tener espesores variables (0.17mm ó 0.34mm por ejemplo) pero al combinarse con la resina epóxica el espesor aumenta a 0.50mm y 1mm respectivamente. La fibra de carbono sola puede tener una resistencia última a la tensión de 42.000 kg/cm<sup>2</sup> y al juntarse con la resina epóxica (se llama laminado) puede tener una resistencia última a la tensión de 8.500 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. **Ver la foto 2.**

## LAS RAZONES MÁS IMPORTANTES POR LAS CUALES SE REFUERZAN LAS ESTRUCTURAS, con el Sistema Sika® CarboDur®, son:

- 1. Aumento de cargas verticales:** estructuras como puentes, muelles y edificios pueden aumentar su capacidad de soportar las cargas muertas y vivas para las cuales fueron diseñados originalmente.
- 2. Deterioro en el tiempo:** el medio ambiente deteriora poco a poco a todas las estructuras. Construcciones costeras sufren más por el ataque de las sales marinas. También deterioro por fuego o explosiones son comunes.
- 3. Errores de diseño y construcción:** estructuras con baja resistencia a compresión del concreto o deficiencia en acero de refuerzo son casos típicos.

Durante varias décadas el concreto reforzado ha sido uno de los materiales más utilizados para el reforzamiento de estructuras, colocado alrededor de elementos estructurales como vigas, columnas, muros (comúnmente llamado un encamisado en concreto reforzado). En ocasiones no es la mejor alternativa para un reforzamiento, sobretodo donde queda un cambio brusco de la rigidez en un mismo elemento estructural o en donde la apariencia se va a ver afectada. **La foto 3** muestra el reforzamiento de las vigas de un edificio que conforman un nudo de un edificio. Hay una diferencia grande de rigideces entre la parte de la viga encamisada con concreto reforzado y la parte que no se reforzó. Adicionalmente se ve afectada la estética de la estructura debido al aumento en las dimensiones de las vigas que llegan al nudo.

Otra alternativa de reforzamiento de los nudos de una estructura son los materiales compuestos FRP, **Sistema Sika CarboDur®**, los cuales se colocan envolviendo la parte de las vigas y de la columna que llegan al nudo, para mejorar su desempeño durante un sismo. No hay un cambio de rigidez en la parte de las vigas y la columna reforzadas con el FRP, tampoco hay un recrecimiento de las dimensiones del nudo, y la instalación del FRP se hace en menor tiempo. **Ver la foto 4.**



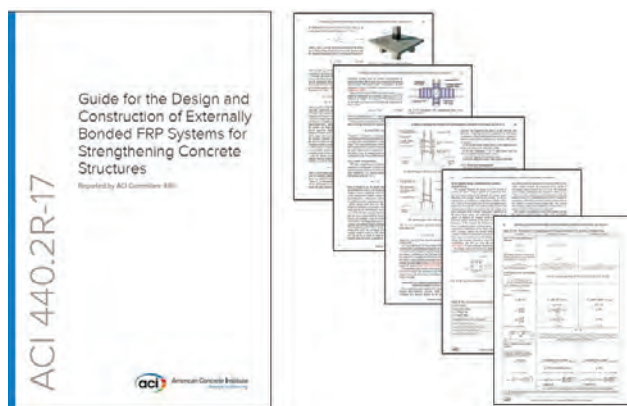
**Foto 4.** Reforzamiento de los nudos de un edificio con un laminado de fibra de carbono, **SikaWrap® 300C**.



**Foto 3.** Recrecimiento con concreto reforzado de las vigas que conforman los nudos (unión viga – columna) en un edificio.

Los ingenieros estructurales cuentan con varias guías para el diseño de reforzamientos con materiales compuestos FRP, como la guía norteamericana ACI 440.2R-17 (2017) y las guías europeas Fib 14 (2001) y Fib 35 (2006). Existen otras guías como la inglesa TR55 (2012) y la italiana CNR-DT 200 R1 (2014). En 2010 se publicó la guía para reforzamientos con FRP de estructuras de mampostería ACI 440.7R.

Mención especial merece la guía norteamericana de reforzamiento de estructuras de concreto con FRP, el **ACI 440.2R-17**, ya que en Junio de 2017 publicó su nueva versión. La anterior versión era de 2008. Ver la foto 5.



**Foto 5** El ACI 440.2R-17, la actual guía norteamericana de diseño de reforzamientos con materiales compuestos FRP.

El ACI 440.2R-17 es la guía preferida de los ingenieros estructurales en Colombia y en otros países de Latinoamérica al momento de calcular la cantidad de FRP para el reforzamiento de estructuras de concreto reforzado. En esta nueva versión se incluyó el capítulo 13 (Seismic Strengthening), con el reforzamiento sísmico de estructuras. Este capítulo se refiere al reforzamiento con FRP de los nudos de una estructura (unión viga – columna), que es donde se concentran los esfuerzos más grandes (flexiones, cortantes) durante un sismo. También incluyeron el reforzamiento sísmico de muros de concreto reforzado (pantallas) con FRP.

El reforzamiento de los nudos de un edificio con FRP era uno de los capítulos más esperados por la comunidad de ingenieros de todo el mundo, ya que es en esta parte donde se concentran los mayores daños en la estructura cuando ocurren los terremotos. Con la inclusión de este capítulo en la guía ACI 440.2R-17 de seguro saldrán más proyectos de este tipo ya que los ingenieros estructurales podrán usar las ecuaciones y la metodología para el cálculo del FRP necesario para el reforzamiento.

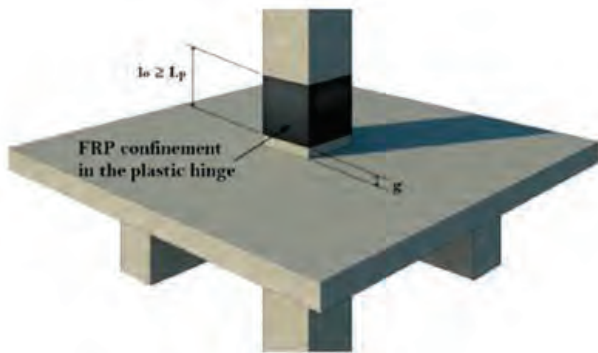


Fig. 13.3.2—Column plastic hinge confinement.

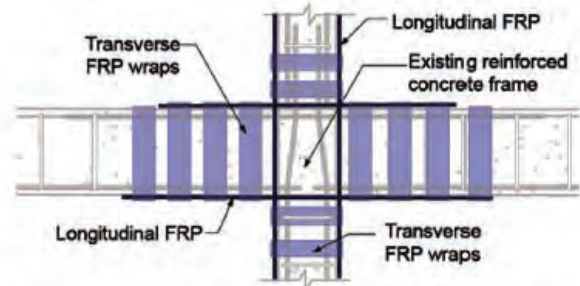


Fig. 13.4.2—Conceptual FRP strengthening detail (cross section elevation).

**Foto 6.** Ilustraciones de un reforzamiento de un nudo de un edificio con materiales compuestos FRP, de la guía norteamericana ACI 440.2R-17.

El estándar ACI 440.2R-17 delimita muy bien lo que es un nudo en una edificación de concreto reforzado, del tipo pórtico resistente a momentos. Se definen unas longitudes de rótula plástica en las columnas y en las vigas, y es allí en donde se colocará el FRP que reforzará el nudo.

**Ver la foto 6.**

Hay varias razones por las cuales se hace necesario reforzar los nudos de un edificio para mejorar su desempeño sísmico:

1. Nudos que tienen los estribos o flejes muy separados, con lo cual su resistencia a los esfuerzos de corte durante un sismo es muy baja.
2. Estribos que no se proyectan hacia el interior del núcleo (no tienen gancho) con lo cual se pueden abrir durante un sismo.
3. Traslapos muy cortos de los aceros de refuerzo y ubicados en la zona de los nudos, lo cual puede conducir a que las barras traslapadas se deslicen durante un sismo.

En las rótulas plásticas, ubicadas tanto en vigas como en columnas es donde se presentan deformaciones y esfuerzos grandes (de flexión y de corte) durante un sismo. Esta zona se puede reforzar envolviéndola o confinándola con los materiales compuestos FRP. **Ver foto 7.**



**Foto 7.** Reforzamiento de la columna de un edificio con un laminado de fibra de carbono SikaWrap®, en la zona de la rótula plástica.

En los nudos exteriores de una edificación se puede colocar el FRP no solamente en las zonas de las rótulas plásticas sino también en el interior del nudo. **Ver la foto 8**

Investigaciones recientes demuestran que se pueden reforzar los nudos de edificios diseñados antes de 1984 (año de la publicación de la primera normativa de diseño sísmo resistente en Colombia) con los materiales compuestos FRP. Recien-



**Foto 8.** Reforzamiento sísmico de un nudo exterior de una edificación con un laminado de fibra de carbono, **SikaWrap® 300C**.

temente se publicó una investigación hecha en la Escuela Colombiana de Ingeniería, en donde se reforzaron con laminados de fibra de carbono (**SikaWrap®**) los nudos de concreto reforzado (en escala real y con la misma cantidad de acero de una estructura diseñada antes de 1984), demostrando que su desempeño estructural se ve mejorado a tal punto que se comporta como un nudo de una edificación diseñada con la actual normativa NSR-10. **Ver la foto 9.**



**Foto 9.** Nudo de concreto reforzado, a escala real, siendo reforzado con un laminado de fibra de carbono **SikaWrap® 300C** y el cordón de fibra de carbono **SikaWrap® FX-50C**. Tesis de la Escuela Colombiana de Ingeniería (2017). Cortesía Ing. Andrés Ramírez.

Otra de las novedades del capítulo 13 de la guía ACI 440.2R-17, es el reforzamiento sísmico de muros de concreto reforzado. Edificaciones concebidas con el sistema estructural de muros de cortante se pueden reforzar con los materiales compuestos FRP para aumentarles su capacidad de absorber fuerzas de corte generadas durante un sismo. **Ver la foto 10.**



**Foto 10.** Muros de concreto reforzados con laminados de fibra de carbono **SikaWrap® 600C**, para aumentar su capacidad de soportar fuerzas cortantes durante un sismo.



Los muros de concreto reforzado pueden verse sometidos a cargas fuera del plano o en su mismo plano, y es por ello que el FRP se coloca en la dirección apropiada para tomar las fuerzas de tensión. Los materiales compuestos FRP siempre deben aprovecharse para tomar cargas/esfuerzos de tensión, no a compresión. **La foto 11** muestra unas platinas de fibra de carbono **Sika® CarboDur® S1012** colocadas en el sentido vertical reforzando un muro de concreto reforzado. Durante un sismo, en los extremos de los muros se concentran unas fuerzas de tensión importantes, en el sentido vertical, que pueden ser absorbidas por los materiales compuestos FRP.

Otro aspecto importante sobre el diseño de reforzamientos sísmicos de nudos y muros según el ACI 440.2R-17 es que la aplicación de las ecuaciones de cálculo implican un análisis no lineal de la estructura. Se deben calcular los diagramas momento - curvatura de las vigas y columnas que llegan al nudo (o el diagrama momento - curvatura para el muro).

En un análisis no lineal se aplican las cargas sísmicas y verticales a la estructura para verificar hasta donde se comporta de manera lineal (sin daño) y en qué momento hay una degradación de la rigidez del elemento y empieza a comportarse de manera no lineal. Básicamente se verifican las deformaciones de la estructura, ya sea en forma de desplazamientos laterales o rotaciones de las zonas de rótulas plásticas (unión viga - columna en el caso de nudos). El análisis no lineal requiere de un conocimiento más profundo del comportamiento del concreto reforzado por parte del ingeniero estructural.

---

## LOS MATERIALES COMPUESTOS FRP EN COLOMBIA

El primer reforzamiento con platinas de carbono se hizo en 1991 en el puente Ibach en Lucerna Suiza. Se reforzaron las vigas con platinas de carbono de 5m de longitud, 15 cm de ancho y 2mm de espesor.

En Colombia y Latinoamérica se hizo el primer reforzamiento con platinas de carbono en 1996 (Puente Cocorná, en la vía Medellín-Bogotá). Se colocaron platinas de carbono **Sika® CarboDur® S512**, de 5cm de ancho y 1.2mm de espesor, en la parte lateral de las vigas para incrementar su capacidad a cortante (162m en total).

Desde entonces son muchos los proyectos en Colombia en donde se ha usado el **Sistema Sika® CarboDur®** (platinas y tejidos de fibra de carbono) para el reforzamiento de numerosas estructuras como edificios, puentes, estadios, tanques, etc.

A medida que avanzan las investigaciones sobre la efectividad de los materiales compuestos FRP, y al consignarse esas investigaciones en las diferentes normativas de diseño de reforzamientos con estos materiales, son más los usos que la comunidad de ingenieros le da para el reforzamiento de estructuras. En la actualidad no solo se refuerzan estructuras de concreto reforzado, sino de mampostería, madera y metal (principalmente tuberías de transporte de petróleo y de gas).



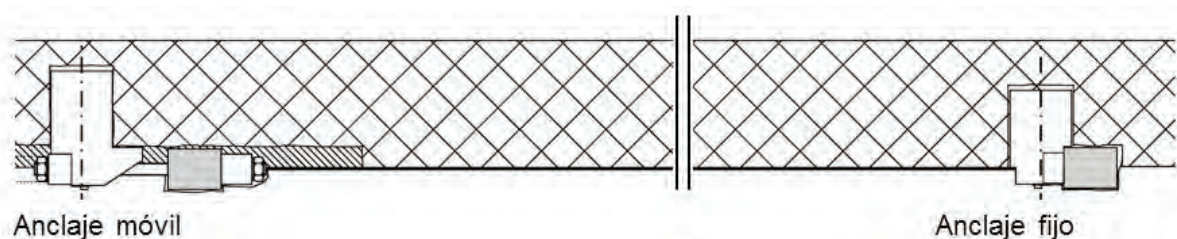
**Foto 11.** Reforzamiento de una pantalla de concreto reforzado con las platinas de fibra de carbono **Sika® CarboDur® S1012**.

# Sistema Sika® CarboStress®

## Reforzamiento de estructuras con platinas de fibra de carbono postensadas.

Hay proyectos especiales que requieren de un aumento de carga grande por parte de los elementos estructurales y que no pueden ser solucionados con materiales compuestos FRP convencionales adheridos al concreto (platinas y tejidos de fibra de carbono). Es entonces cuando hay que aplicar una solución más poderosa, las platinas de carbono postensadas, **Sistema Sika® CarboStress®**.

Los materiales compuestos FRP como las platinas de carbono **Sika® CarboDur®** son de por sí una solución de reforzamiento muy eficiente, pero cuando les aplicamos una fuerza de tensionamiento a las platinas, se convierte el sistema en una solución activa muy poderosa para el reforzamiento estructural.

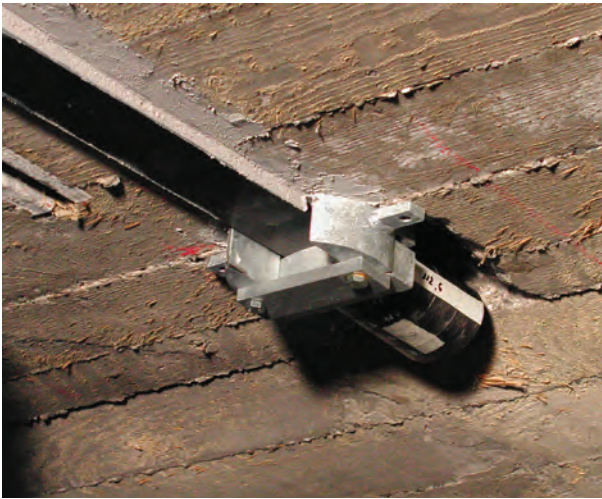


**Figura 12.** Esquema de una estructura reforzada con una platina de carbono postensada, **Sistema Sika® CarboStress®**.

## VENTAJAS

El sistema de platina/platinas de carbono postensadas **Sika® CarboStress®** tiene las siguientes ventajas:

- Fácil de manipular e instalar por su bajo peso.
- No requiere de espacios grandes para su instalación.
- La platina de carbono no se corroe.
- La fuerza se puede transferir de manera concentrada en los extremos o a lo largo de la platina de carbono mediante el adhesivo epóxico. La platina de carbono puede estar adherida o no adherida a lo largo de su longitud.
- No hay pérdidas importantes de la tensión (menos del 0.01%).
- Se puede instalar bajo condiciones de operación.



**Figura 13.** Extremo fijo del sistema de platinas de carbono postensadas **Sika® CarboStress®**. Se ve la platina de carbono **Sika® CarboDur® S626** y la cabeza de fibra de carbono en su extremo, las cuales se sostienen por medio de un anclaje metálico dentro del concreto.

## CARACTERÍSTICAS

La platina de carbono tiene las siguientes características:

**Platina Sika® CarboDur® S626:**

**Ancho:** 60mm.

**Longitud:** rollo de 250m (se corta la longitud requerida en el proyecto)

**Espesor:** 2.6mm

**Módulo de elasticidad:** 165.000 N/mm<sup>2</sup>

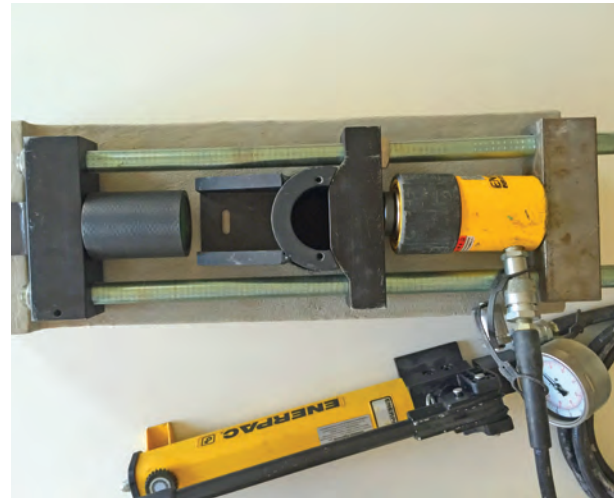
**Esfuerzo de tensión último:** 2.800 N/mm<sup>2</sup>

Y las fuerzas de tensionamiento son:

**Esfuerzo de tensionamiento:** 1.410 N/mm<sup>2</sup>

**Deformación de tensionamiento:** 0.0085

**Fuerza de tensionamiento:** 220 KN



**Figura 14.** Extremo móvil del sistema de platinas de carbono postensadas. Se ve la platina de carbono y en su extremo la cabeza de fibra de carbono. También se ve el gato hidráulico con el cual se aplica la fuerza de tensionamiento (22 ton).

# APLICACIÓN EN EDIFICIOS INDUSTRIALES Y DE APARTAMENTOS

## Sistema Sika®CarboStress®

Las losas y las vigas de los edificios deben reforzarse a menudo por aumento de las cargas vivas y cambios de uso. La transferencia de la fuerza concentrada en los extremos de las platinas de carbono es una ventaja en la configuración estructural. Cuando no se pueden lograr los objetivos del reforzamiento con platinas de carbono sin tensionar, el sistema de platinas de carbono postensadas **Sika®CarboStress®** es la mejor solución.

Los muros de mampostería a menudo tienen insuficiente capacidad de soportar las fuerzas laterales de sismo. Al aplicar una fuerza vertical de postensionamiento con las platinas de carbono, se aumenta la resistencia a fuerzas de corte en las mamposterías. Lo anterior también es válido para edificios con pantallas en concreto reforzado.

**En la foto 15** se muestra el reforzamiento de un muro (pantalla de concreto reforzado) con las platinas de carbono postensadas. Se ve el extremo de una de las platinas de carbono en el momento de aplicación de la fuerza de postensado por medio de un gato hidráulico (se aplican 22 toneladas).

### VENTAJAS:

- Se puede aplicar a edificios históricos (estructuras de mampostería).
- El postensionamiento vertical aumenta la resistencia a cargas laterales de sismo.
- Fácil de instalar por su bajo peso. Las platinas de carbono se pueden cortar en las longitudes requeridas (rollos de 250m de longitud).



**Foto 15.** Platinas de carbono postensadas en la losa de un edificio en Viena (Austria)



**La foto 16.** Extremo móvil del sistema de platinas de carbono postensadas **Sika®CarboStress®**

La **foto 16** muestra 3 platinas de carbono postensadas **Sika CarboDur® S626** en la parte inferior de una losa de un casino en Viena (Austria). Se requería eliminar 2 columnas del edificio para aumentar el espacio de un salón. Antes de la eliminación de las columnas se instalaron y tensionaron las 3 platinas de carbono.

# APLICACIÓN EN PUENTES

## Sistema Sika®CarboStress®

La capacidad de soportar cargas y la funcionalidad de los puentes se puede deteriorar por un aumento de las cargas vivas, cambios en el sistema estructural, corrosión, defectos en el diseño y en la construcción. Las losas pueden tener poca capacidad de carga lo que conduce a su fisuración. El reforzamiento con las platinas de carbono postensadas **Sika®CarboStress®** reducirá el ancho de las fisuras debido a la fuerza activa de tensionamiento que se aplica.

### VENTAJAS:

- Reforzamiento a flexión de vigas y losas
- Reforzamiento a cortante de vigas cajón
- Reducción de los anchos en las fisuras en las losas
- Se restituyen las condiciones de preesfuerzo en el concreto, perdidas por daño en los tendones de acero presforzado.
- Diferentes configuraciones de aplicación, ya sea debajo de las vigas o en la parte lateral.
- Se mejora el esfuerzo a la fatiga al reducirse los esfuerzos de tensión en el acero.
- Se puede instalar bajo condiciones de operación del puente.
- La fuerza se puede transferir de manera concentrada en los extremos o a lo largo de la platina de carbono. La platina de carbono puede estar adherida o no adherida a lo largo de su longitud.



**Foto 17.** Extremo móvil del sistema de platinas de carbono postensadas (zona donde se coloca el gato hidráulico para la aplicación de la fuerza de tensado), en un puente en Suiza.



**Foto 18 .** Interior de la viga cajón de un puente en Suiza. Se ven las platinas de carbono y el extremo móvil (zona donde se hace el tensionamiento de las platinas de carbono).



**Foto 19.** Vista lateral de un puente en Francia reforzado con las platinas de carbono tensionadas (parte lateral de las vigas).



**Foto 20 .** muestra una platina de carbono postensada **Sika®CarboDur® S626** en la parte lateral de una de las vigas en el reforzamiento de un puente en Francia.

Un proyecto con platinas de carbono postensadas **Sika® CarboStress®** tendrá menos platinas que uno con platinas simplemente adheridas (sin tensionar). El tensionamiento permite que se aproveche una mayor cantidad de fuerza de tensión de la platina de carbono y por lo tanto es más eficiente que la solución sin tensionar.

El principio básico del reforzamiento de estructuras de concreto con platinas de carbono postensadas es similar al del concreto postensado convencional. Una porción o toda la carga muerta es transferida a las platinas previo a la adherencia y anclaje de las mismas al concreto. Los anclajes mecánicos en el extremo de las platinas de carbono transfieren el presfuerzo al concreto. Las platinas de carbono postensadas toman una parte de la carga muerta y la carga viva, en comparación con las platinas de carbono sin postensar que solo toman una parte de la carga viva.

Otras ventajas que se obtienen al reforzar con las platinas de carbono postensadas, **Sistema Sika® CarboStress®**, son las siguientes:

- La estructura es menos susceptible a fisurarse una vez esté en servicio, y si lo hace el ancho de las fisuras es más estrecho y el número de fisuras es más distribuido. Hay que tener en cuenta que las fisuras son un problema para la correcta adherencia del FRP (platinas o tejidos de fibra de carbono).
- Se mejora la durabilidad y el servicio de la estructura debido a la reducción en la fisuración.
- Si la estructura ya está fisurada antes del reforzamiento, al instalar las platinas de carbono y postensarlas se cierran las fisuras existentes.
- Se logra el mismo nivel de reforzamiento pero con menos cantidad de platinas de carbono comparado con un reforzamiento con platinas de carbono sin tensionar.
- El eje neutro se encuentra más abajo en el caso de las platinas postensadas, lo cual resulta en una mayor eficiencia estructural.
- El tensionamiento incrementa la carga a la cual empieza a fluir el acero de refuerzo interno.



**Foto 21.** (a superior) Platina de carbono en la parte lateral de una viga de un puente en Suiza. (b inferior) Detalle del anclaje de la platina de carbono postensada.

# Reseña de las platinas de Carbono Postensadas.

El primer reforzamiento con platinas de carbono se hizo en 1991 en el puente Ibach en Lucerna Suiza. Se reforzaron las vigas con platinas de carbono de 5m de longitud, 15 cm de ancho y 2mm de espesor, simplemente adheridas al concreto (sin tensionar).

A finales de los 90s inventan el sistema de platinas de carbono postensadas en Suiza y en el año 2000 hacen el primer reforzamiento con este sistema (Puente Reuss en Lucerna Suiza).

En la actualidad se han reforzado más de 400 estructuras con las platinas de carbono postensadas, principalmente en los Países europeos (Suiza, Alemania, Francia, Polonia, Austria).

Hay proyectos de reforzamiento de estructuras en donde el nivel de cargas es grande, por ejemplo cuando el nivel de cargas es el doble del que soporta el elemento estructural (vigas y losas). En esos casos las platinas de carbono simplemente adheridas no solucionan el problema. Se requiere entonces un sistema de reforzamiento más potente, como son las platinas de carbono postensadas, **Sistema Sika®CarboStress®**.

## El Software Sika®CarboDur®

El objeto de este software es proporcionar la asistencia necesaria al usuario en el dimensionamiento del reforzamiento con materiales compuestos FRP, Sistema **Sika®CarboDur®**, requerido para lograr un (a) reforzamiento a flexión, (b) reforzamiento a cortante y (c) confinamiento de columnas.

Los procedimientos de cálculo empleados en este programa están basados en la norma ACI440.2R-17

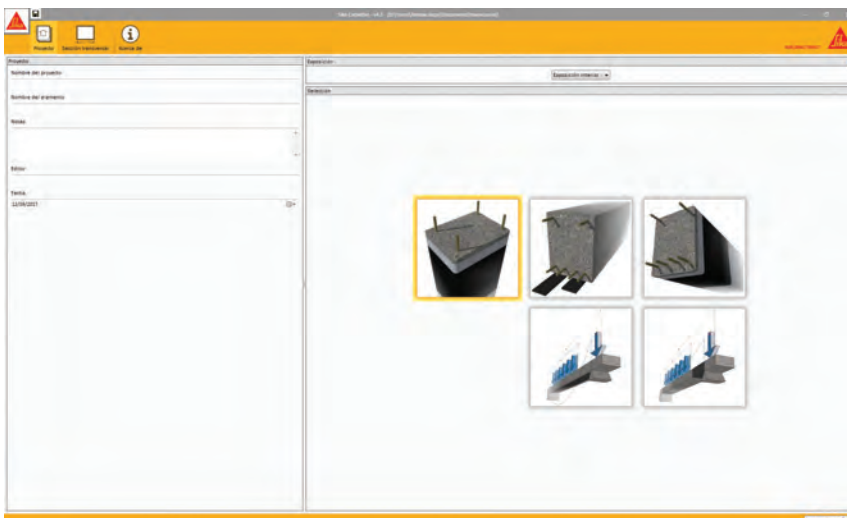
**“Guía para el diseño y construcción de sistemas FRP adheridos externamente, para el refuerzo de estructuras de concreto”.**

Otras metodologías de diseño auxiliares han sido tomadas de los siguientes códigos:

- ACI 318-14: **Building Code Requirements for Structural Concrete.**
- Eurocode 2: **Diseño de estructuras de concreto.**

También da las opciones de usar la guía del Reino Unido, el TR55; y la guía de Suiza el SIA 166.

El software **Sika®CarboDur®** y su manual del usuario pueden ser descargados de la página web de **Sika Colombia** (<http://col.sika.com/>).



### EL SISTEMA SIKA CARBODUR EN COLOMBIA:

Sika Colombia ofrece el siguiente portafolio de productos, que componen el **Sistema Sika®CarboDur®**.

1. Platinas de fibra de carbono: **Sika®CarboDur® S512 y Sika® CarboDur®S1012.**
2. Tejidos de fibra de carbono: **SikaWrap®300C y SikaWrap®600C.**
3. Cordón de fibra de carbono **SikaWrap®FX-50C.**
4. Platinas de carbono postensadas, **Sistema Sika® CarboStress®.**

# SIKA UN AMPLIO RANGO DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN



**IMPERMEABILIZACIÓN**



**CONCRETO**



**REFORZAMIENTO**



**PEGADO Y SELLADO**



**PISOS**



**CUBIERTAS**

## Sika Colombia S.A.S.

### BARRANQUILLA

Cll. 114 No. 10 - 415. Bodega A-2  
Complejo Industrial Stock Caribe.  
Barranquilla  
Tels.: (5) 3822276 / 3822008 /  
3822851 / 3822520 / 30  
Fax: (5) 3822678  
barranquilla.ventas@co.sika.com

### CALI

Cll. 13 No. 72 - 12  
Centro Comercial Plaza 72  
Tels.: (2) 3302171 / 62 / 63 / 70  
Fax: (2) 3305789  
cali.ventas@co.sika.com

### EJE CAFETERO

Centro Logístico Eje Cafetero  
Cra. 2 Norte No. 1 - 536  
Bodegas No. 2 y 4. Vía La Romelia -  
El Pollo  
Dosquebradas, Risaralda  
PBX.: (6) 3321803  
Fax: (6) 3321794  
pereira.ventas@co.sika.com

### MEDELLÍN

Km. 34 Autopista Medellín - Btá -  
Rionegro  
PBX: (4) 5301060  
Fax: (4) 5301034  
medellin.ventas@co.sika.com

### SANTANDERES

Km. 7 - Vía a Girón  
Bucaramanga - Santander  
PBX: (7) 646 0020  
Fax: (7) 6461183  
santander.ventas@co.sika.com

### TOCANCIPÁ

Vereda Canavita  
Km. 20.5 - Autopista Norte  
PBX: (1) 878 6333  
Fax: (1) 878 6660  
Tocancipá - Cundinamarca  
oriente.ventas@co.sika.com,  
bogota.ventas@co.sika.com

[sika\\_colombia@co.sika.com](mailto:sika_colombia@co.sika.com)  
[web: col.sika.com](http://web:col.sika.com)

La información, y en particular las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todas las órdenes de compra son aceptadas con sujeción a nuestros términos de venta y despacho publicadas en la página web: [col.sika.com](http://col.sika.com). Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.



[www.linkedin.com/company/sika](https://www.linkedin.com/company/sika)

**CONSTRUYENDO CONFIANZA**

