



EL OBRADOR

# REFUERZO DE ESTRUCTURAS CON FIBRA DE CARBONO

**Javier de Güenes Pérez**

Técnico colaborador para Sika, S.A.U.

## Ideas generales

- El sistema que seguidamente se va a desarrollar se puede utilizar, si fuera necesario, conjuntamente y como solución mixta, con otros sistemas de reparación y refuerzo de estructuras.
- Para los cálculos se aplicarán las ecuaciones de equilibrio de momentos y fuerzas.
- Los diagramas de tensión-deformación del hormigón y del acero que se consideran son los de la Norma EHE o actualizaciones posteriores de la misma.
- El diagrama tensión-deformación del Laminado CFRP es el que se muestra en el apartado.
- Las deformaciones de las armaduras son iguales a las del hormigón que lo envuelve.
- Las deformaciones del Laminado CFRP son iguales a las del hormigón al que está pegado.
- Las secciones planas permanecen planas, después de la flexión.
- Se llega al agotamiento de los materiales por el valor de su deformación.
- La estructura se encuentra normalmente sometida a esfuerzos y deformaciones cuando se aplica el sistema de refuerzo estructural con fibra de carbono. Por lo tanto, las deformaciones iniciales en el hormigón y en el acero se deben tener en consideración al hacer los cálculos.

## Objeto

- El presente artículo tiene por objeto establecer las especificaciones bajo las que se deben realizar los trabajos de cálculo y refuerzo de estructuras mediante el pegado, con resina epoxi, de laminados de polímero reforzado con fibras de carbono [Laminados CFRP].

## Prescripciones generales

### Campos de aplicación

- El sistema de refuerzo mediante **Laminados CFRP** es adecuado para estructuras realizadas con alguno o algunos de los siguientes materiales:
  - Hormigón
  - Acero
  - Madera
- Dentro de las estructuras de los tipos anteriores, su campo de aplicación es el refuerzo de elementos sometidos a flexión, mediante el pegado de **Laminados CFRP** en la cara traccionada de la sección.
- El sistema mediante el empleo de **Laminados CFRP** sirve para incrementar el momento resistente de elementos estructurales que necesiten ser reforzados por:
  - Incremento de capacidad de cargas vivas en edificios y puentes, pisos en hospitales, losas de azotea en edificios, etc.
  - Refuerzo sísmico de elementos estructurales tales como columnas, muros no reforzados de albañilería, etc.
  - Reparación de tuberías de diámetros grandes para lograr refuerzo y permeabilidad.
  - Reparación de componentes estructurales dañados debido a condiciones agresivas de su entorno, fuego, impacto de vehículos, envejecimiento, etc.
  - Cambios en el sistema estructural: nuevas aberturas en la losa, demolición de muros existentes, perforaciones, etc.
  - Corrección de errores de diseño o construcción: varillas de acero de refuerzo colocadas erróneamente, peralte insuficiente, etc.
  - Errores de proyecto.
  - Fallos de ejecución. Incremento de las cargas de uso.
  - Accidentes de la estructura.



## Refuerzo de estructuras con fibra de carbono

- Mejora de las condiciones de servicio (flechas, fisuraciones...).
- Incremento de los coeficientes de seguridad.
- Cambios en el esquema estático por eliminación de pilares, apertura de huecos, etc.
- Cualquier otra causa que haya llevado al elemento estructural a unas condiciones de seguridad insuficientes.

### Características generales del Sistema con Laminados CFRP

- El principio de refuerzo mediante el sistema con el empleo de **Laminados CFRP**, se basa en la aportación, al elemento estructural, de un material con unas sobresalientes características mecánicas, principalmente su resistencia a tracción y un peso muy bajo.
- Esta aportación logra incrementar las capacidades resistentes del elemento estructural en lo que se refiere a flexión.
- La transmisión de tensiones entre el soporte y el **Laminado CFRP** se realiza mediante un pegado continuo del mismo con una resina epoxi al elemento que se va a reforzar.
- El sistema de **Laminados CFRP** está compuesto por los siguientes materiales o productos:
  - Una formulación epoxídica, utilizada como elemento adherente del **Laminado CFRP** al soporte sobre el cual va a ser colocado.
  - El propio **Laminado CFRP** a base de polímero reforzado con fibra de carbono, que es el elemento que aporta altas resistencias a tracción.

### Diseño del refuerzo

- Para los cálculos estructurales necesarios para el diseño del refuerzo con el sistema de **Laminados CFRP**, el proyectista debe

seguir la **normativa existente** aplicable en cada caso. En concreto, para el cálculo de refuerzos de estructuras de hormigón armado se deben seguir las directrices de la EHE08.

### Requerimientos generales

#### Soporte

- Las condiciones que debe cumplir el soporte son las siguientes:
  - La resistencia al arrancamiento realizada mediante ensayo de tracción *pull off* en el hormigón:
    - El resultado debe ser mayor de 1,5 Mpa.
  - La planeidad de las superficies debe ser tal que las irregularidades cumplan lo siguiente:
    - Bajo regla de 2 m:  $\leftarrow$  10 mm.
    - Bajo regla de 0,20 m:  $\leftarrow$  4 mm.
  - La porosidad superficial cumplirá:
    - Superficie del poro:  $\leftarrow$  3 cm<sup>2</sup>.
    - Profundidad:  $\leftarrow$  5 mm.
    - Extensión:  $\leftarrow$  10 % de la superficie total.
  - Para el estado de la superficie se comprobarán los siguientes aspectos:
    - Alcalinidad: grado de carbonatación.
    - Humedad:  $\leftarrow$  4 %
    - Manchas: aceites, grasas, productos de curado para obra reciente, moho, vegetación, etc., en obras viejas.
    - Defectos: humedad, fisuras, cavidades, desconchados, etc.

### Trabajos previos a la ejecución

#### Preparación del soporte

##### Saneado

- Las superficies a tratar se presentarán de tal manera que, en el momento de ejecutar los trabajos de refuerzo, estén en perfectas



## EL OBRADOR

condiciones, para lo cual se eliminarán las lechadas superficiales, manchas, suciedad, partes mal adheridas, restos de otros oficios, etc., mediante repicado, cincelado, escarificado, abujardado o cualquier otro procedimiento manual o preferiblemente mecánico, hasta conseguir un soporte que reúna las condiciones idóneas, en cuanto a cohesión y rugosidad, que garanticen la buena adherencia físico-química del producto de pegado.

### Limpieza

- Realizadas las operaciones de saneado y con el fin de obtener superficies totalmente limpias, estas se someterán a cualquiera de los sistemas que a continuación se indican:
    - Chorro de arena.
      - Es la más indicada para este tipo de trabajos.
      - Consiste en proyectar sobre el soporte un chorro de arena de sílice mediante un compresor de caudal variable en función de la distancia al soporte, con una presión de 7 atm aproximadamente.
      - La granulometría de la arena estará comprendida entre 1 y 2 mm y el operario que realice el trabajo actuará provisto de una escafandra protectora ventilada con aire fresco.
- Maquinaria recomendable:
- Clemco Modelo 1028.
  - Clemco Modelo 2452.
  - Graco.
  - Atlas Copco.
- Agua a alta presión.
    - Consiste en proyectar sobre el soporte agua con una presión mínima de 150 atm, mediante un equipo especial, a través de una lanzadera provista

de una boquilla adecuada y con una presión en bomba controlada con un manómetro.

Maquinaria recomendable:

- Kelly F-200
  - Dima 2400/2800 Senior
  - Woma 1502
  - Nilfish
  - Chorro de agua-arena.
    - Sistema combinación de los otros mencionados, en el que se utiliza básicamente el equipo de chorro de agua a alta presión y una lanza de proyección con un dispositivo que permite incorporar la arena de sílice en la boquilla. (Efecto Venturi).
- Maquinaria recomendable:
- Urvapor PX 200.
- Otros tipos:
- Pistola de aire comprimido, con agujas.
  - Limpieza con chorro de vapor.
  - Limpieza con llama.
  - Tratamiento con ácidos.

### Pasivación de armaduras

- Esta unidad de obra será aplicable en el caso de que, al sanear y limpiar el soporte, aparecieran armaduras al aire.
- En ese caso:
  - Sobre las zonas con armaduras al descubierto se realizará una limpieza con



## Refuerzo de estructuras con fibra de carbono

chorro de arena, grado SA 2 1/2 según Norma SIS 05 59 00.

- Una vez chorreadas se soplarán con aire a presión limpio y seco, para eliminar la arena y el polvo depositados.
- A continuación se procederá a la protección de los mismos frente a la corrosión mediante la aplicación de dos capas de una imprimación anticorrosiva de dos componentes, a base de resinas epoxi curadas con poliamidas y fosfato de zinc, con un consumo aproximado de 250-300 g/m<sup>2</sup> para un espesor de película seca de 80-100 micras.
- Se debe dejar transcurrir al menos 24 horas desde la aplicación de la imprimación anticorrosiva hasta la regeneración.
- Sobre la segunda capa, aún fresca, se puede espolvorear arena de cuarzo de granulometría 0,4 a 0,7 mm con objeto de garantizar la adherencia del mortero de regeneración.

### Regeneración

- Sobre las superficies que hayan perdido espesor de recubrimiento se realizará una regeneración cuyas funciones son, por un lado, restituir el perfil original al elemento, y por otro, regularizar las superficies con el fin de que el espesor de resina epoxi sea mínimo.
- Asimismo, se prestará especial atención a las superficies que vayan a recibir los laminados de refuerzo.
- La planeidad de las superficies:
  - Bajo regla de 2 m: ← 10 mm.
  - Bajo regla de 0,20 m: ← 4 mm.
- Sobre las zonas en las que se haya perdido espesor de recubrimiento será preciso regenerarlas mediante morteros a base de resinas epoxi.
- Previamente se realizará la imprimación del soporte con el fin de garantizar la adherencia.
- La elección del producto a utilizar viene condicionada por el espesor a aplicar.
- Espesor superior a 5 mm.
  - Como capa de adherencia e imprimación sobre el soporte se aplicará mediante brocha o rodillo, una mano de imprimación epoxídica específica para este fin.
  - El consumo varía en función del soporte, pero como valor medio puede estimarse en 250 g/m<sup>2</sup>.

- La regeneración de las zonas que hayan perdido espesor podrá realizarse mediante la aplicación de un mortero epoxídico de tres componentes, predosificado, a base de resinas epoxi y cargas, exento de solventes. La colocación del producto puede realizarse mediante paleta, paletín o espátula. El consumo es de 1,9 kg/m<sup>2</sup> y mm de espesor.
- Espesor inferior a 5 mm.
  - Si el espesor fuera inferior a 5 mm la regeneración y regularización se realizará mediante una formulación epoxídica de dos componentes, a base de resinas epoxi, exento de disolventes.

### Transporte y preparación de los laminados

#### Transporte

- Debido a la flexibilidad del material, que permite su fácil doblado, se recomienda el transporte de este formando un rollo. Este rollo puede tener la longitud que se desee, pero se recomienda llevar todo lo que se vaya a usar en un solo trozo (hasta una longitud de 250 m) y efectuar el cortado del laminado en obra en las longitudes que se deseen.

#### Corte y preparación

- El corte del laminado en las longitudes deseadas se hará en obra mediante el corte del mismo:
  - una sierra manual
  - una tijera de cizalla
  - una radial
- La preparación de los laminados consiste, simplemente, en la limpieza del polvo y suciedad depositada en la cara que se va a pegar. La otra cara no necesita ninguna preparación.

### Puesta en obra

#### Aplicación del adhesivo sobre el soporte

- El adhesivo a emplear es un producto de dos componentes a base de resinas epoxi y cargas especiales, que no contiene disolventes.
- Para su aplicación, mezclar completamente los dos componentes con una batidora eléctrica de baja velocidad (máx. 300/600 r.p.m.), al menos durante tres minutos, hasta conseguir una pasta totalmente homogénea y de color gris.

- Una vez limpias las superficies mediante chorro de arena u otro procedimiento y regularizadas, se procederá a la aplicación tanto sobre la chapa metálica, como sobre el soporte, de una película de entre 0,5 y 1 mm de espesor del adhesivo epoxidico.



ejercer presión hasta que se compruebe que está perfectamente situado en su posición correcta.

- Posteriormente se apretará el laminado contra el soporte mediante un rodillo de goma dura que se irá pasando a lo largo de toda la longitud.
- De esta forma se logrará que rebose el adhesivo sobrante por los lados, lo mismo que las posibles burbujas de aire.
- El adhesivo que haya rebotado debe quitarse con una espátula.
- Al final debe quedar una superficie continua de pegado, sin burbujas de aire entre el laminado y el soporte.
- Debido a su bajo peso, los laminados no necesitan ser apeados y se sostienen en el soporte desde el principio.
- El espesor máximo de adhesivo al terminar el trabajo anterior será como máximo de 1,5 mm.



### Aplicación del adhesivo sobre el laminado

- Se aplicará una capa de entre 0,5 y 1 mm de espesor.

### Colocación del laminado sobre el soporte

- Una vez aplicado el adhesivo sobre soporte y laminado (pegado a doble cara), se procederá a colocar este sobre aquel. Primeramente se colocará el laminado sin



## Recubrimiento de los laminados

### Recubrimiento por cuestiones estéticas

- Si se necesitara por razones estéticas, el laminado se puede recubrir con pinturas epoxídicas o acrílicas.

### Recubrimiento como protección contra incendios

- Si se deseara proteger el refuerzo contra el fuego se recomienda la utilización de placas ignífugas.
- También se pueden utilizar pinturas ignífugas, previa comprobación de la adherencia y compatibilidad con el laminado mediante ensayos previos.

## Puesta en carga

- El adhesivo va adquiriendo sus resistencias desde el momento en que es colocado hasta conseguir el endurecimiento total a los 7 días.
- Por lo tanto, es necesario esperar 7 días hasta sobrecargar el elemento estructural a su carga máxima, pudiendo cargarse previamente con sobrecargas inferiores que no hagan superar el límite de resistencia del adhesivo en cada momento.

## Control de calidad

### Previo a la ejecución de los trabajos

Se deberán hacer controles tales como:

- Ensayos de resistencias mecánicas del hormigón.

- Ensayos de estabilidad y polimerización correcta del adhesivo:
- Relación resina-endurecedor correcta.
- Temperatura de aplicación.

## Finalizados los trabajos de ejecución

Se pueden hacer controles tales como:

- Ensayos de adherencia por tracción directa.
- Pruebas de carga.

## Obra

- En las distintas imágenes se aprecian las fases más usuales de un trabajo de refuerzo estructural mediante los Laminados CFRP.
- Se puede observar un soporte preparado al efecto, pero que tiene zonas con un "poro" grande y profundo, mayor del permitido.
- En la siguiente se está procediendo a rellenar esos huecos para que el soporte quede en las condiciones correctas para recibir al Laminado CFRP.
- En la siguiente se está procediendo al corte del preformado para adaptarlo a las medidas idóneas.
- Posteriormente se procederá a la colocación del adhesivo.
- En la foto siguiente se está procediendo a la colocación en su posición idónea del Laminado de CFRP, se puede apreciar que hay que dar el adhesivo en el soporte a reforzar y en el elemento de refuerzo (pegado a doble cara).
- Y como acabado pasar un rodillo para apretar y dejar la menor cantidad posible de elemento adherente (epoxi), debe tener esa capa de elemento adherente un espesor como máximo de 1,5 mm.