

Molins^o



PROPAM[®] CARBOCOM

Refuerzo de estructuras de hormigón armado
con fibra de carbono



ÍNDICE

pág 3	01. Introducción
pág 4	02. Condiciones generales para el uso de refuerzo
pág 10	03. Marco normativo y documento de idoneidad técnica (DIT)
pág 14	04. Fases y productos en el refuerzo con fibra de carbono
pág 22	05. Tipologías de intervención y sistemas
pág 34	06. Documentación y normativa de referencia
pág 36	07. Sostenibilidad y medioambiente
pág 38	08. Sobre nosotros



01

INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo XIX, la combinación de acero y hormigón revolucionó la construcción gracias a sus propiedades técnicas y ventajas constructivas. Hoy en día, el hormigón armado sigue siendo la base de la mayoría de las estructuras de edificación e ingeniería civil, garantizando estabilidad y funcionalidad en innumerables aplicaciones.

Sin embargo, las **estructuras no son inmutables**. Factores como el envejecimiento natural de los materiales, incrementos en las cargas de uso, cambios normativos, errores de diseño o ejecución, e incluso eventos extraordinarios, pueden comprometer su capacidad portante. En estos casos, surge la **necesidad de reforzar los elementos estructurales** para prolongar su vida útil y adaptarlos a nuevas exigencias.

Los **sistemas de refuerzo con materiales compuestos de fibra de carbono (FRP)** representan una solución avanzada, ligera y altamente eficiente. Gracias a su elevada resistencia a tracción, bajo peso y excelente comportamiento frente a la corrosión, permiten aumentar la capacidad estructural sin añadir cargas significativas ni alterar la geometría original. Además, su instalación rápida y versátil minimiza las interrupciones en el uso de la estructura.

En Construction Solutions de Molins, **hemos desarrollado un completo catálogo de soluciones para el refuerzo de estructuras mediante fibra de carbono**, orientadas a garantizar la seguridad, durabilidad y sostenibilidad de las infraestructuras y edificaciones.

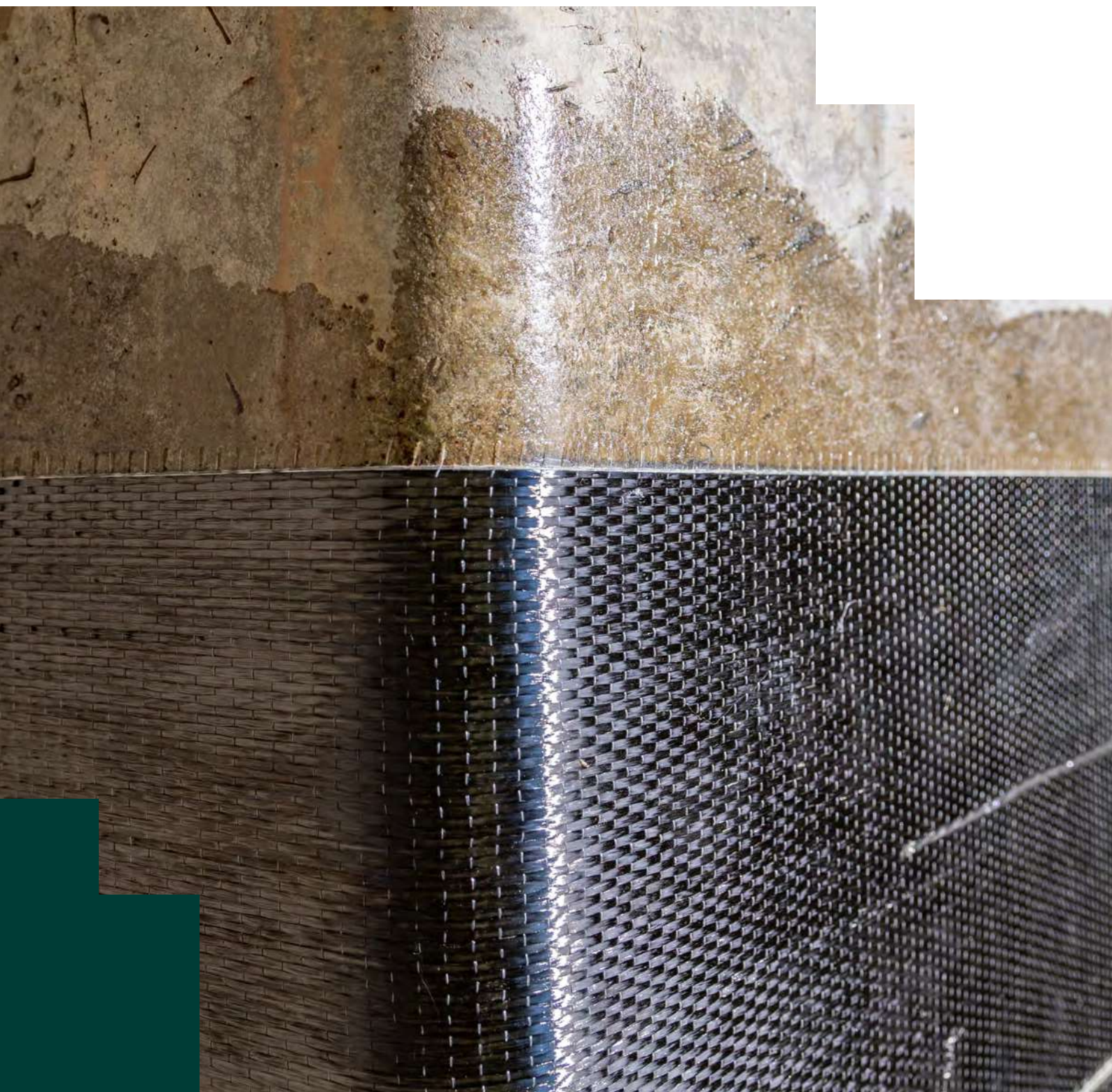
Los sistemas **PROPAM® CARBOCOM** proporcionan soluciones de refuerzo estructural para elementos de hormigón armado mediante materiales compuestos de fibra de carbono (CFRP).

Están basados en laminados y tejidos unidireccionales adheridos con resinas epoxi estructural, permite incrementar capacidad a flexión, cortante y compresión con mínimo espesor y peso, manteniendo la geometría original. Este catálogo se estructura por tipologías de intervención y se apoya en el **Pliego del sistema, Fichas Técnicas, DIT 603R/25** y el marco del **Código Estructural**.



02

CONDICIONES GENERALES PARA EL USO DE REFUERZO



El refuerzo de estructuras de hormigón armado con **materiales compuestos de fibra de carbono** (FRP, por sus siglas en inglés) es una técnica de rehabilitación y mejora que aumenta la capacidad resistente de elementos existentes sin incrementar significativamente su peso ni secciones. Se considera reforzar una estructura cuando se interviene en ella para aumentar su capacidad portante por resultar insuficiente ante las acciones exigidas.

Los sistemas de refuerzo estructural suelen consistir en varios productos aplicados en conjunto para mejorar las prestaciones mecánicas originales de uno o varios elementos de la estructura.

En general, las alternativas tradicionales de refuerzo incluyen:

A Recrecidos de sección con hormigón u hormigón proyectado

B Refuerzos con perfiles o chapas de acero

C Refuerzos con materiales distintos al hormigón o acero, como los polímeros reforzados con fibra (FRP)

Estos últimos se han convertido en una alternativa eficiente gracias a su alta resistencia a tracción y ligereza, pero requieren considerar cuidadosamente una serie de aspectos técnicos y constructivos para garantizar su eficacia y durabilidad.



Criterios de selección del sistema de refuerzo

Elegir el método de refuerzo adecuado implica evaluar la naturaleza del problema estructural y las condiciones específicas de la obra. Los refuerzos con fibra de carbono son especialmente útiles para aumentos de capacidad a flexión en vigas o losas, incremento de resistencia a cortante, o confinamiento de pilares para mejorar su ductilidad, entre otras aplicaciones típicas. Su uso es indicado cuando se requiere incrementar la resistencia sin aumentar secciones ni peso propio (por ejemplo, en rehabilitaciones donde añadir hormigón o acero resultaría invasivo o sobrecargaría la estructura existente).

Algunas situaciones comunes que demandan refuerzo con FRP son:

- ▶ **Incremento de cargas de uso**
(p.ej. cambio de uso del edificio, sobrecargas mayores en forjados).
- ▶ **Recuperación de la capacidad original perdida por deterioro (corrosión, fatiga),**
daños accidentales o errores de proyecto/ejecución.
- ▶ **Adaptación a normativas más exigentes o criterios sísmicos actuales,**
aumentando la seguridad estructural sin modificar la geometría.

A la hora de seleccionar el **refuerzo de fibra de carbono**, es fundamental verificar la compatibilidad con el elemento existente. El **Código Estructural español exige que el método de refuerzo garantice la compatibilidad de propiedades físicas, químicas, electroquímicas y dimensionales entre el refuerzo y el sustrato de hormigón.**

Esto implica, por ejemplo, que el **sistema FRP** tenga un comportamiento compatible en cuanto a deformaciones (módulo elástico adecuado) para trabajar juntamente con el hormigón y el acero existente sin provocar concentraciones de tensión. También significa que los materiales no generen reacciones adversas: las resinas epoxi usadas no deben ser agresivas al hormigón ni a las armaduras, y deben ser resistentes al ambiente al que estará expuesto el elemento reforzado (humedad, productos químicos, etc.).

Asimismo, se debe asegurar la adecuación dimensional: el espesor añadido por las láminas o tejidos de carbono y la capa de resina es normalmente pequeño (milímetros), pero es importante que no interfiera con despejes, recubrimientos o el uso de la estructura. Por ejemplo, en vigas o losas con recubrimiento justo, hay que comprobar que la adición del refuerzo superficial no reduzca en exceso la sección útil o la separación a posibles fuegos (en tal caso podría requerir rebajar ligeramente la superficie de hormigón para encastrar el laminado o emplear sistemas de barras embebidas en regatas).





Un criterio esencial de selección es también la condición del soporte de hormigón. El refuerzo con FRP solo es viable si el hormigón existente tiene suficiente cohesión y resistencia superficial para asegurar la adherencia. Antes de aplicar un refuerzo, se aconseja comprobar la resistencia a tracción superficial mediante ensayos de arrancamiento (pull-off); se suele requerir un mínimo del orden de 1,5 MPa de resistencia a tracción directa del soporte, con rotura dentro del hormigón (no en el adhesivo).

Si la superficie está degradada o no alcanza esa cohesión, será necesario repensar la estrategia (por ejemplo, recrecer con mortero o usar otros anclajes) o reparar el soporte hasta lograr la resistencia requerida. En general, el hormigón debe estar sano, sin carbonatación o corrosión avanzada que comprometa la adherencia. Las fisuras preexistentes en el elemento a reforzar deberían repararse o, al menos, evaluarse; si son fisuras activas, podría requerirse su sellado con resina o aplicar el refuerzo de forma que controle su apertura. Hay que tener en cuenta siempre que la evaluación de la actuación con un refuerzo no evita la reparación del hormigón armado siempre que sea necesario.

Otro factor de selección es el ambiente de exposición y durabilidad requerida. Se debe escoger un sistema de refuerzo cuyos componentes (fibra, resina, adhesivo) estén calificados para las clases de exposición de la estructura (según la normativa, por ejemplo, ambientes húmedos, agresivos por cloruros, etc.). Las fibras de carbono en sí son químicamente inertes y no se corroen, lo que es una ventaja importante frente a refuerzos metálicos. No obstante, las resinas poliméricas sí pueden verse afectadas por agentes externos: rayos ultravioletas, temperatura, humedad, productos químicos, etc. Por ello, en ambientes exteriores con radiación solar es imprescindible proteger el refuerzo con revestimientos opacos a los UV, ya que la resina epoxi puede degradarse con exposición prolongada al sol.

En entornos industriales o costeros, se debe verificar la resistencia química de la resina frente a posibles ataques (por ejemplo, niebla salina, ácidos, disolventes) y considerar capas de protección adicionales si fuese necesario.

Compatibilidad de materiales y condiciones de durabilidad

Como se ha señalado, la compatibilidad material entre el FRP y la estructura de hormigón es crítica. Esto abarca la compatibilidad mecánica (módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson de la lámina vs. hormigón), la térmica (coeficientes de dilatación térmica similares para evitar esfuerzos por cambios de temperatura) y la electroquímica. En este último aspecto, las fibras de carbono son conductoras eléctricas, por lo que su presencia en ciertas zonas sensibles debe evaluarse. Por ejemplo, no conviene colocar refuerzos de carbono cerca de equipos electrónicos muy sensibles o en entornos donde puedan causar interferencias eléctricas, si bien en la mayoría de las estructuras esto no es problemático. En caso de elementos metálicos cercanos, no hay riesgo de corrosión galvánica directa porque el carbono no reacciona electroquímicamente con el acero; más bien, el beneficio es que el FRP al ser no metálico no sufre corrosión, lo cual aporta durabilidad en ambientes húmedos o con cloruros donde las armaduras de acero tradicionales podrían corroerse.



En términos de durabilidad, además de la protección frente a UV y agentes químicos mencionada, se debe considerar la temperatura de servicio. Las resinas epoxi utilizadas tienen una temperatura de transición vítrea (T_g) típicamente en el rango de 50–80°C (dependiendo del producto). Por encima de esa temperatura, sus propiedades mecánicas decaen rápidamente. Esto significa que, en caso de incendio, el refuerzo de fibra de carbono perderá adhesión y efectividad, por lo que no debe contarse con él para la resistencia estructural bajo fuego.

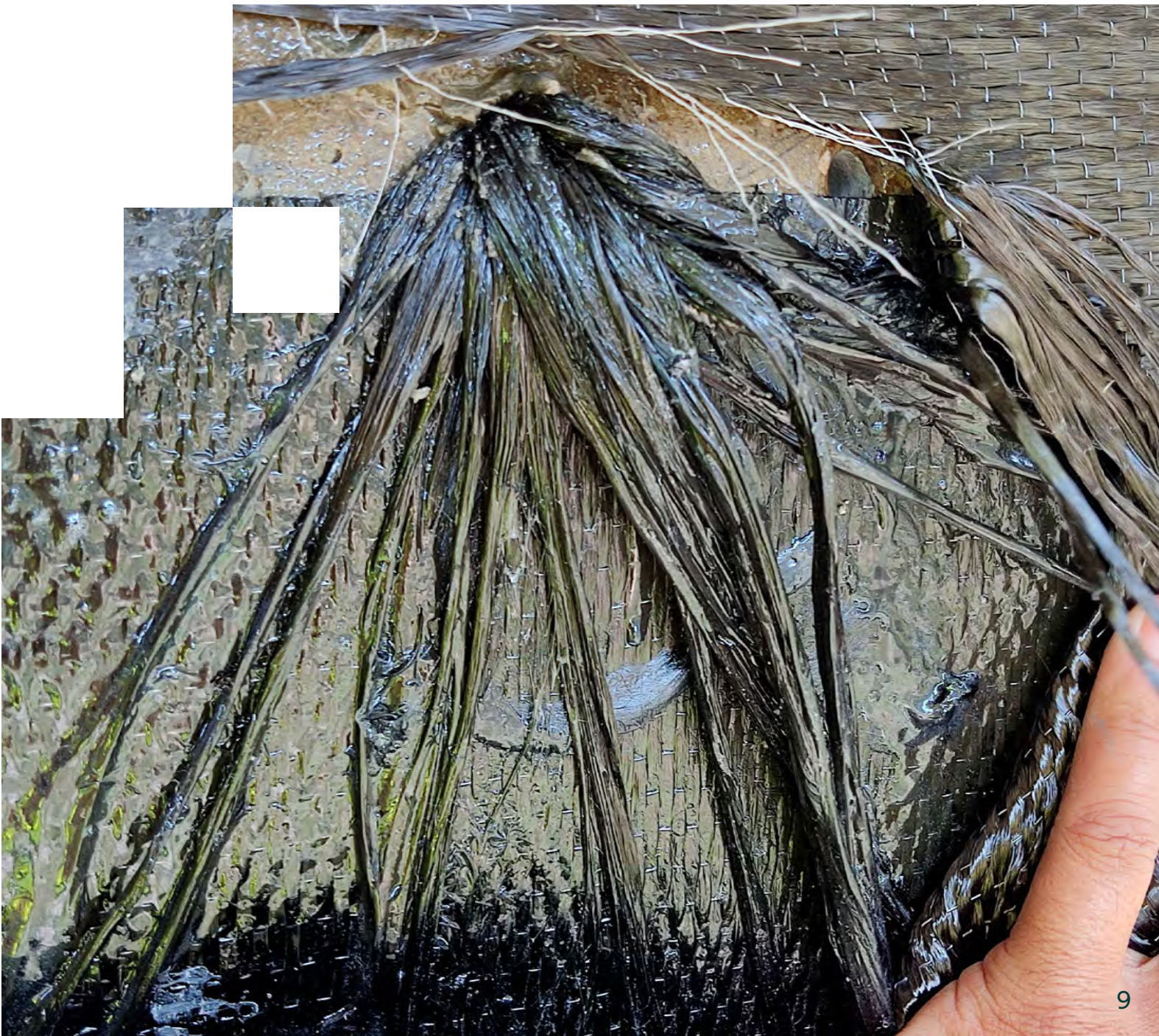
La normativa española indica que en caso de incendio los sistemas FRP no contribuyen a la capacidad resistente, por lo que el elemento debe verificarse para situación de fuego considerando solo sus armaduras de acero originales (y recubrimientos adecuados), o bien deben tomarse medidas de protección al fuego del refuerzo.

En la práctica, esto se traduce en dos posibles estrategias:

1. Dimensionar el refuerzo de modo que la estructura tenga suficiente seguridad sin la contribución del FRP durante un incendio, cumpliendo el tiempo de resistencia al fuego requerido con la sección de hormigón-armado existente.
2. Si el refuerzo aportado por la fibra de carbono es indispensable para alcanzar la resistencia exigida, será obligatorio proteger el sistema FRP con materiales ignífugos (pinturas intumescentes, morteros o paneles ignífugos) que le permitan mantener la temperatura de las resinas por debajo de su umbral crítico durante el tiempo requerido. De igual forma, si la estructura reforzada está en un ambiente de alta temperatura continua (por ejemplo, cerca de hornos industriales), puede que el FRP no sea el método idóneo a menos que se aisle térmicamente.

Otras condiciones ambientales por valorar durante los trabajos de aplicación de este tipo de sistema son la humedad y la congelación/deshielo. Las resinas epoxi no fraguan correctamente sobre superficies húmedas o con temperatura muy baja. Por eso, durante la aplicación (ver Capítulo 4) se exige que el soporte de hormigón esté seco (usualmente con humedad superficial por debajo de ~4%, y que la temperatura ambiente sea la apropiada según el fabricante (típicamente >5°C, evitando también calor excesivo >30°C). Tras la instalación, la exposición a ciclos de hielo-deshielo o a inmersión en agua puede afectar la interfaz de pegado si el sistema no está protegido: el agua puede infiltrarse si hay defectos y con las heladas causar despegues. Por tanto, en climas fríos o elementos en la intemperie se recomienda sellar bien los bordes del refuerzo y aplicar recubrimientos impermeabilizantes si fuera necesario.

En resumen, las condiciones generales de uso del refuerzo con fibra de carbono requieren un estudio previo riguroso de: la necesidad estructural (tipología de refuerzo), la capacidad y estado del hormigón existente, la compatibilidad de materiales, y las condiciones ambientales presentes y futuras. Si estos aspectos se abordan correctamente, los sistemas de FRP pueden proporcionar una solución de refuerzo duradera, eficaz y segura, minimizando el impacto en la estructura existente y cumpliendo con los requisitos de la normativa vigente.



03

MARCO NORMATIVO Y DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA (DIT)



El empleo de materiales compuestos de matriz polimérica y fibra como refuerzo estructural en España está sujeto a un marco normativo específico que ha evolucionado en los últimos años. Hasta fechas recientes, la principal normativa del hormigón estructural (Instrucción EHE-08, de 2008) no incluía requisitos ni métodos de cálculo explícitos para refuerzos con FRP. De hecho, ni la EHE-08 ni los Documentos Básicos del Código Técnico de la Edificación (CTE) reglaban directamente el uso de laminados o tejidos de fibra adheridos.

En consecuencia, tales sistemas se consideraban “productos y sistemas innovadores” en el sentido del CTE, cuya utilización exigía una evaluación técnica favorable de idoneidad para el uso previsto.

En la práctica, esto significa que cualquier sistema de refuerzo con fibra de carbono debe contar con un **Documento de Idoneidad Técnica (DIT)** u otra evaluación equivalente (p.ej. el **DAU catalán** o una **Evaluación Técnica Europea, ETA**) emitida por un organismo autorizado, que garantizase que el sistema cumple las exigencias básicas estructurales y de seguridad del CTE.

Solo los sistemas con **DIT/ETA** vigente se pueden considerar conformes al **CTE** para su empleo en obra.

El **Documento de Idoneidad Técnica (DIT)**, emitido en España por el Instituto Eduardo Torroja (IETcc-CSIC) u organismos competentes, es por definición una apreciación técnica favorable de la aptitud de empleo en construcción de un material, sistema o procedimiento no tradicional destinado a un uso específico.

En el caso de los refuerzos de fibra de carbono, el **DIT** evalúa el sistema completo (fibra + resinas + modo de aplicación) mediante ensayos y análisis que comprueban su resistencia mecánica aportada, su comportamiento a largo plazo (durabilidad, fatiga, fluencia), su reacción al fuego, su compatibilidad con el hormigón, etc. También suele incluir las condiciones de diseño y puesta en obra.

Los sistemas **PROPAM® CARBOCOM** disponen de **DIT (DIT 603R/25)** donde se recoge su modo de aplicación y resultados de pruebas a escala real, brindando confianza sobre su desempeño. Es importante recalcar que, si bien el **DIT** no reemplaza el cálculo estructural, sí proporciona parámetros certificados (resistencias, módulos, coeficientes de seguridad) que el proyectista debe usar para justificar el refuerzo.



Con la aprobación del Código Estructural (Real Decreto 470/2021), vigente desde 2022, se ha integrado por primera vez en la normativa española una regulación específica para refuerzos con materiales compuestos. El Código Estructural deroga a la **EHE-08** y en su **Artículo 41** aborda la gestión de las estructuras existentes y sus refuerzos.

En dicho artículo se establecen definiciones y criterios generales: se reconoce explícitamente el uso de polímeros reforzados con fibra (FRP) como una de las alternativas de refuerzo estructural admisibles.

El código define los distintos tipos de fibra (carbono, vidrio, aramida) y formas de presentación (tejidos unidireccionales o bidireccionales, laminados pultrusionados).

También describe la función de la matriz polimérica (resina) en proteger las fibras y garantizar la transmisión de tensiones.

Además, se indica un principio esencial: la selección del método de refuerzo debe considerar la compatibilidad con las condiciones del soporte existente, las condiciones ambientales del entorno y la funcionalidad de la estructura (tal como se explicó en el capítulo anterior).

El Código Estructural exige que, si se emplean productos específicos para refuerzo, estos cumplan con la normativa técnica aplicable. En particular, remite a la familia de normas **UNE-EN 1504** (normas europeas para productos y sistemas de reparación de estructuras de hormigón).

Los adhesivos epoxi estructurales usados para pegar laminados o tejidos deben satisfacer los requisitos de la **UNE-EN 1504-4**, los morteros de reparación o recrecido deben cumplir **UNE-EN 1504-3**, y los productos de anclaje de armaduras **UNE-EN 1504-6**.

Esto garantiza que los materiales cuenten con marcado CE y prestaciones normalizadas (resistencia a tracción del adhesivo, adherencia mínima al hormigón, comportamiento frente a ciclos térmicos, etc.). No existe todavía una norma europea armonizada específica para los laminados o tejidos de FRP como producto individual, de ahí que siga siendo necesario apoyarse en evaluaciones técnicas caso por caso (los ETAs europeos se basan en Guías Europeas como ETAG 055, y en España en los DITs).



En cuanto a criterios de proyecto, el **Código Estructural no proporciona un método** de cálculo detallado dentro del articulado principal, pero hace referencia a la necesidad de definir en el proyecto los sistemas de refuerzo a utilizar y sus especificaciones, incluyendo métodos de aplicación y control de calidad.

En ausencia de métodos normativos nacionales detallados, los proyectistas españoles suelen recurrir a documentos reconocidos internacionalmente como la **guía ACI 440 (de EE.UU.)** o el **boletín técnico fib Bulletin 90 (2019) del CEB-fib**, que ofrece recomendaciones de diseño, ejecución y control de refuerzos con FRP.

Estos documentos sirven de apoyo para justificar el cálculo estructural de la intervención con fibra de carbono, hasta que se desarrollen en España documentos técnicos propios o anexos específicos. De hecho, el **fib Bulletin 90** es citado en la literatura técnica nacional como referencia vigente, aunque carezca de rango normativo obligatorio.

Por último, es importante mencionar la interacción de los refuerzos con otras normativas. Por ejemplo, el **CTE DB-SI (Seguridad en caso de Incendio)** exige que, si un elemento estructural requiere un cierto R (resistencia al fuego en minutos), cualquier sistema añadido no debe comprometerlo. Como vimos, si el refuerzo de fibra de carbono es necesario para la resistencia, habrá que proveerlo de protección al fuego para cumplir el R exigido. Asimismo, en obras que requieran **Garantía Decenal (seguro decenal)**, las compañías de seguros suelen imponer que se informe y justifique el uso de sistemas no tradicionales como los **FRP** desde la fase de proyecto, aportando la documentación de idoneidad técnica y un plan de control específico.

En muchos casos, el asegurador exigirá al proyectista un Informe de idoneidad o de validación por organismo autorizado antes de dar cobertura a la intervención. Por todo ello, integrar el marco normativo desde el inicio del proyecto de refuerzo es imprescindible: se debe verificar que el sistema cuenta con **DIT/ETA en vigor**, cumplir las condiciones de aplicación que éste imponga, y atenerse a los estándares de calidad requeridos por las **normas UNE e instrucciones técnicas aplicables**. Solo así se asegura que la solución de refuerzo con fibra de carbono, además de técnicamente eficaz, sea legalmente apta y cubierta desde el punto de vista de responsabilidad y seguros.



04

FASES Y PRODUCTOS EN EL REFUERZO CON FIBRA DE CARBONO

El proceso de refuerzo estructural con fibra de carbono conlleva una serie de etapas ejecutivas bien definidas, así como el uso de productos específicos en cada fase.

A continuación, se describen las fases típicas – desde la preparación del soporte hasta la inspección final – y los materiales empleados, de acuerdo con las buenas prácticas y la normativa técnica.

4.1 Preparación del soporte de hormigón

Una adecuada preparación de la superficie de hormigón es clave para el éxito del refuerzo con **FRP**. Esta etapa inicial comprende: reparación, limpieza y acondicionamiento del elemento a reforzar. Primero, se evalúa el estado del soporte y se realizan ensayos preliminares (como pruebas de adherencia por arrancamiento y medición de humedad superficial) para asegurar que la superficie cumple los requisitos mínimos. Si el hormigón presenta daños (fisuras, desconchados, armaduras expuestas con corrosión), debe repararse con morteros de reparación estructural antes de pegar cualquier refuerzo (véase catálogo sobre tratamiento integral de estructuras de hormigón armado, enlace web).

Las fisuras activas pueden necesitar sellado con resina epoxi de inyección (**PROPAM® INJECT 100 EPO**).

A continuación, se procede a preparar la superficie propiamente dicha. Debe obtenerse un soporte limpio, seco, resistente y rugoso.

Para lograrlo, típicamente se emplean métodos como lijado, fresado ligero o granallado de la capa superficial de hormigón, eliminando la lechada de cemento y partes débiles hasta exponer árido sano. Toda presencia de pinturas, recubrimientos antiguos, aceites, grasa o desencofrantes debe eliminarse completamente.

La rugosidad superficial es importante para favorecer la adherencia mecánica del adhesivo epoxi; suele requerirse un perfil de rugosidad similar al de un lijado medio. Al mismo tiempo, la superficie debe mantenerse plana dentro de tolerancias: irregularidades mayores (p. ej. resaltes >1 mm o cambios de plano abruptos) deben corregirse mediante lijado o con un alisado usando mortero de reparación como nivelación **PROPAM® REPAR EPO 920**.

En obras, se suelen establecer criterios como que bajo una regla de 2 m las desviaciones no superen ~10 mm, lo que da idea de la planitud necesaria para que un laminado de carbono asiente correctamente.

Otro aspecto crítico es la sequedad del soporte. La humedad máxima tolerada en la superficie de hormigón suele ser alrededor del 4%, si está más húmedo, se debe esperar a que seque o forzar secado, ya que la presencia de agua inhibe la correcta adhesión de la resina epoxi.

También se debe evitar la aplicación en temperaturas extremas: idealmente entre ~10°C y 30°C, siguiendo las fichas técnicas de cada producto. Antes de comenzar con la adhesión, la superficie preparada se limpia de polvo mediante aspiración o soplado con aire comprimido libre de aceite.

Asimismo, se recomienda delimitar y marcar las zonas donde irán los refuerzos (por ejemplo, trazando las bandas en las vigas) para tener una guía durante la aplicación.

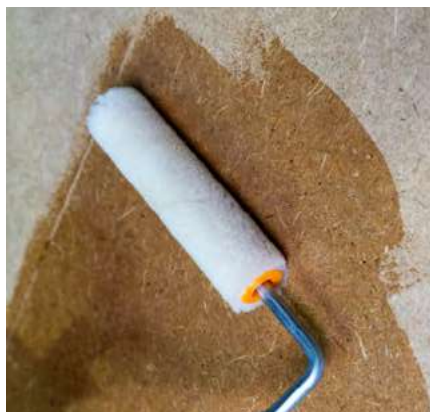
Finalmente, en elementos con aristas vivas (vigas, cantos de forjado, pilares prismáticos), conviene biselar o redondear las esquinas (con un radio mínimo del orden de 20-30 mm) para que los tejidos o laminados de carbono puedan doblar sin discontinuidades ni concentraciones excesivas de tensión.

Una arista viva podría cortar o no permitir el correcto pegado de un tejido que envuelve, por lo que este sencillo rebajado con amoladora facilita luego la instalación del refuerzo.

4.2 Aplicación de los materiales de refuerzo (imprimación, adhesivos y fibras)

Con el soporte ya preparado, se pasa a la fase de instalación del sistema FRP, que típicamente incluye los siguientes pasos: aplicación de imprimación, colocación del refuerzo (sea tejido o laminado) con su adhesivo, y posterior curado. Durante toda esta fase, se deben respetar estrictamente las instrucciones de cada ficha técnica (proporciones de mezcla de resina, tiempos de vida de la mezcla, condiciones ambientales, etc.).

1. Imprimación del soporte:



En muchos sistemas, el primer producto a aplicar es una resina de imprimación epoxi de baja viscosidad sobre la superficie de hormigón. Esta imprimación penetra en los poros del hormigón y actúa como puente de adherencia, mejorando la adhesión del siguiente estrato de resina. El producto utilizado es **PROPAM® REPAR EPO 93**. Se extiende una capa fina y uniforme de imprimación con rodillo o brocha, saturando bien la superficie, pero sin encharcar. Algunas resinas de imprimación también ayudan a consolidar superficialmente el hormigón. Es importante esperar el tiempo indicado (que la imprimación esté “al tacto” apropiada, normalmente aún pegajosa pero no líquida) antes de seguir con el siguiente paso.

2.1 Colocación del refuerzo de fibra de carbono



El procedimiento difiere ligeramente según se use tejido/fibra flexible o laminado pultrusionado rígido:

Refuerzo con tejido de fibra de carbono (láminas flexibles) PROPAM® CARBOCOM F: Se trata de paños de tejido unidireccional de carbono, suministrados en rollos. La técnica habitual es el sistema “wet-layup”, donde se impregna el tejido con resina epoxi in situ **PROPAM® CARBOCOM EPO F**. Sobre la superficie ya imprimada, se aplica primero una capa de resina epoxi de impregnación.

Esta resina es de viscosidad media/alta, formulada para empapar la fibra y endurecer junto con ella. Inmediatamente, se coloca el tejido de carbono (previamente cortado a la medida requerida) extendiéndolo sobre la zona impregnada. Se presiona el tejido contra el hormigón usando rodillos rígidos o espátulas, de manera que quede perfectamente adherido y empapado de resina, sin burbujas de aire.

Luego, se suele aplicar otra pasada de resina saturante por encima del tejido para asegurar su completa impregnación (en sistemas de varias capas, se van alternando tejido-resina-tejido...). Hay que cuidar que las fibras queden rectas, sin arrugas ni desviaciones en la dirección principal, y que los solapes entre paños adyacentes cumplan lo especificado (usualmente solapes de ~15 cm para garantizar continuidad). Si es necesario más de una capa de tejido, a menudo se coloca la siguiente capa fresca sobre la anterior todavía húmeda. En superficies verticales o sobre cabeza, se limita el número de capas húmedas a colocar en una sola operación (p.ej. no más de 2-3 capas a la vez) para evitar deslizamientos por gravedad.

2.2 Colocación del refuerzo de fibra de carbono



Refuerzo con laminados de fibra de carbono (pultruidos rígidos) PROPAM® CARBOCOM P: Son bandas prefabricadas de CFRP, de secciones típicas rectangulares (p.ej. 50 mm de ancho por 1.2 mm de espesor, u otras dimensiones). Vienen listas para usar, solo requieren corte a longitud. La instalación es por técnica de pegado con adhesivo epoxi **PROPAM® CARBOCOM EPO P**. Tras la imprimación del soporte (que también se aconseja que se realice en este caso), se aplica sobre la superficie de hormigón una capa de adhesivo epoxi tixotrópico a modo de mastique.

Este adhesivo (de consistencia similar a una masilla) se coloca con llana dentada formando un cordón continuo de espesor controlado (por ejemplo ~2-3 mm). Pasar al laminado un trapo seco y limpio con el fin de eliminar cualquier polvo depositado. Coloca el laminado de carbono presionándolo contra el hormigón en la posición deseada.

La presión se ejerce con rodillo o manualmente hasta que parte del adhesivo rezuma por los bordes – señal de que no quedan huecos bajo la lámina.

Se retira el excedente de adhesivo que salga por los lados antes de que cure. Es fundamental asegurar que el espesor de adhesivo remanente entre el laminado y el hormigón sea el adecuado (ni demasiado grueso que genere holgura, ni tan delgado que falte adherente). Generalmente se busca una fina capa totalmente continua que rellene cualquier irregularidad micro de la superficie pero sin superar ~3 mm.

Durante la colocación de cualquiera de los dos sistemas, el personal aplicador debe usar guantes y herramientas limpias; no se debe contaminar la resina con polvo o suciedad.

Es recomendable que la instalación la realicen aplicadores homologados y entrenados específicamente en sistemas de FRP, ya que la correcta ejecución influye enormemente en el resultado final, ponerse en contacto con nuestro departamento de customer service para la capacitación de la empresa aplicadora.

Las condiciones ambientales deben mantenerse controladas: ausencia de viento, de polvo en suspensión, y sin presencia de agua o lluvia durante todo el proceso (se pueden usar toldos o cerramientos provisionales si se trabaja a la intemperie).

Instalación de laminados de fibra de carbono en el intradós de un forjado para refuerzo a flexión, suele requerir andamiaje o acceso adecuado, y a veces soportes provisionales para mantener las láminas en posición durante el curado del adhesivo.

3. Refuerzo complementario con conectores de fibra de carbono



En los refuerzos a cortante o confinamiento, los tejidos de fibra de carbono se colocan frecuentemente en forma de estribos en “U” envolviendo las almas de vigas o pilares. Sin embargo, en elementos parcialmente accesibles –por ejemplo, vigas adosadas a forjados donde no es posible cerrar el estribo en su parte superior–, la transmisión completa de esfuerzos de cortante puede verse limitada por el anclaje del tejido en los extremos.

Para solucionar esta limitación y garantizar una transferencia efectiva de las tensiones, se emplean conectores de fibra de carbono, también denominados anclajes de fibra, “spike anchors” o mechas estructurales **PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR**. Estos dispositivos se fabrican con haces de fibras de carbono impregnadas en resina en diámetros de 6-8-10 mm que se introducen en taladros previamente realizados en el hormigón y se fijan mediante adhesivos epoxi estructurales **PROPAM® CARBOCOM EPO F**, quedando parte de la fibra extendida y embebida en el tejido o la lámina principal.

Su función estructural es doble:

- **Anclaje y continuidad del refuerzo:** Permiten transferir los esfuerzos de tracción del tejido o laminado hacia el interior del hormigón, evitando desprendimientos prematuros y garantizando la plena utilización de la resistencia del FRP.
- **Colaboración frente a esfuerzos a cortante:** Actúan como elementos de anclaje y tracción diagonal, colaborando directamente con el tejido de refuerzo en la absorción de tensiones de cortante. De esta forma, los conectores ayudan a cercar la fisuración diagonal y a incrementar la capacidad resistente a cortante de la viga, especialmente cuando el refuerzo no puede cerrar el estribo completo.

Desde el punto de vista de cálculo, los anclajes de fibra se dimensionan en función de la resistencia a extracción del conjunto fibra-resina-hormigón y del ángulo de colocación (habitualmente entre 45° y 90° respecto a la superficie), según criterios de guías como el fib Bulletin 90 o documentos técnicos incluidos en los **DIT** de los sistemas. En general, se distribuyen cada cierto espaciamiento (p. ej., cada 20-40 cm), coincidiendo con las zonas donde se interrumpen los tejidos de carbono o donde se concentran los mayores esfuerzos de cortante.

Durante la ejecución, su instalación sigue estas fases:

- Perforación del soporte con broca de diámetro y profundidad definidos (normalmente Ø8-14 mm y 80-120 mm).
- Limpieza del taladro con aire comprimido y cepillo para eliminar polvo.
- Aplicación de adhesivo epoxi estructural conforme a **UNE-EN 1504-4 PROPAM® CARBOCOM EPO P** (si se necesita tixotrópico) o normalmente con **PROPAM® CARBOCOM EPO F**
- Inserción de la parte conformada, dejando la parte libre extendida sobre la zona de refuerzo.
- Impregnación final de la fibra expuesta con la misma resina de saturación del sistema **FRP PROPAM® CARBOCOM EPO F**, integrándola con el tejido o lámina.

Este tipo de conectores de fibra de carbono es especialmente útil en el refuerzo de vigas, ménsulas y nudos de pórticos, donde los esfuerzos a cortante son determinantes. El DIT recoge el uso de este tipo de complemento, garantizando que su empleo cumple los requisitos de seguridad y durabilidad exigidos por el Código Estructural.

4. Curado de las resinas y puesta en carga

Tras la colocación del refuerzo, es crucial respetar los tiempos de curado de las resinas epoxi antes de someter la estructura a cargas adicionales o vibraciones. Por lo general, se recomienda un curado mínimo de 24 a 48 horas antes de retirar cualquier apoyo temporal o antes de reintroducir la carga de servicio, y una curación completa de 7 días para alcanzar las resistencias finales (dependiendo de la temperatura ambiente, pues el curado es más rápido en calor moderado). Durante este periodo inicial, se debe evitar impactos o movimientos que pudieran descolar los refuerzos recién pegados. Algunas especificaciones indican que, si es posible, la estructura se mantenga descargada o al menos sin sobrecargas mientras cura el sistema.

En refuerzos críticos, a veces se monitoriza la dureza del adhesivo (por ensayo de Barcol) o se dejan testigos de resina externos para verificación antes de dar por concluido el curado.

5. Protección final del refuerzo

Una vez endurecido el **sistema FRP**, se procede a aplicar las protecciones finales necesarias por motivos de durabilidad o estética. En muchos casos, se recubre el refuerzo con un revestimiento: puede ser una capa de pintura anticarbonatación **PROPAM® CARBOPAINT** o **PROPAM® CARBOPAINT FLEX** posteriormente a la última mano de epoxi **PROPAM® CARBOCOM EPO F** espolvoreada con árido. Esto es si se desea que quede visto con acabado discreto, o bien un mortero **PROPAM® REPAR TECHNO 20** de recubrimiento si se pretende ocultarlo totalmente e igualar la superficie con el resto de la estructura.

La protección no solo cumple función estética, sino que resguarda al refuerzo de posibles impactos, roces o vandalismo cuando está al alcance en zonas habitadas. Es altamente recomendable cubrir los laminados o tejidos expuestos para evitar que puedan ser dañados accidental o deliberadamente; por ejemplo, se puede aplicar una capa de mortero de reparación sobre el laminado tras espolvorear arena de sílice sobre la última resina fresca, logrando así una superficie rugosa de agarre y una pintura anticarbonatación como terminación final.

Estudios y guías destacan que las principales desventajas de los **refuerzos de FRP** son justamente su vulnerabilidad si quedan desprotegidos frente a golpes, fuego o UV, de ahí la importancia de esta fase final de protección.

En resumen, las etapas de ejecución de un refuerzo con fibra de carbono abarcan desde la preparación minuciosa del hormigón hasta la protección y control final de calidad.

4.3 Buenas prácticas de control de calidad y criterios de ejecución

Durante y después de la instalación, se aconseja implementar un riguroso control de calidad para asegurar que el refuerzo cumple su función. Muchas de estas directrices están recogidas en el DIT y en la norma **UNE-EN 1504-10** (ejecución de refuerzos). Algunos criterios y verificaciones clave son:

Inspección del soporte antes de reforzar

Debe disponerse de un registro que confirme que el soporte cumple las condiciones: resistencia de adherencia ≥ 1.5 MPa (según ensayo UNE-EN 1542) en las áreas medidas, humedad dentro del límite, limpieza adecuada, ausencia de recubrimientos o partículas sueltas. Si algo no cumple, se corrige y vuelve a comprobar antes de proceder.

Condiciones ambientales de la aplicación

Se monitorean la temperatura, humedad y clima. Debe constar que no hubo lluvia, que la temperatura se mantuvo por encima del mínimo requerido (por ejemplo ≥ 5 °C durante el curado inicial) y por debajo del máximo, etc. Frecuentemente se estipula mantener el elemento reforzado a >5 °C hasta el endurecimiento completo de la resina, y proteger de lluvia durante al menos 24 horas tras la aplicación. Estas precauciones se documentan en el plan de calidad de la obra, deteniendo los trabajos si las condiciones se salen de rango.

Control de la mezcla y aplicación de resinas

Se verifica que las proporciones de mezcla de los componentes A/B de las resinas sean las indicadas (uso de balanzas o kits predosificados), que la mezcla es homogénea y que se usa dentro de su tiempo de utilización (pot-life). Cualquier tanda de resina que haya empezado a endurecer no debe utilizarse. También se controla el espesor de adhesivo aplicado bajo laminados (a veces se hacen cortes o probetas testigo para ver si hay huecos).

Comprobación visual del acabado del refuerzo

Una vez instalados, todos los paños de fibra o laminados deben inspeccionarse al 100% de su superficie. Se busca detectar burbujas o huecos entre el refuerzo y el hormigón. Un método es la auscultación ligera con sonido: un golpeo suave revela por sonido si hay zonas despegadas (sonido hueco). También se puede hacer termografía infrarroja o ultrasonidos como métodos no destructivos para localizar faltas de adhesión. En tejidos, las burbujas pequeñas (≤ 10 mm) podrían inyectarse con resina PROPAM® INJECT 100 EPO (enlace FT); zonas mayores podrían requerir repetir el refuerzo localmente. Los extremos y traslajos se revisan para asegurar que no estén despegados. Si hubiese áreas significativas mal adheridas, no se puede certificar el refuerzo hasta reparar esas faltas.

Ensayos de adherencia de comprobación

A veces, además del control previo del hormigón, se realizan pruebas de arrancamiento del sistema endurecido. Consiste en pegar sobre el refuerzo terminado unos troqueles metálicos con una resina adicional, y tras curar arrancarlos con un dispositivo de tracción perpendicular. Este ensayo (tipo pull-off) permite medir la adherencia hormigón-resina-fibra de forma análoga al ensayo inicial del hormigón. Los criterios de aceptación suelen ser similares: valores por encima de ~ 1.5 MPa y que la rotura ocurra mayoritariamente en el hormigón (cohesión del soporte), no en la interfase. Esto confirma que la unión es satisfactoria. Este tipo de prueba es semidestructiva (deja una pequeña área dañada), por lo que se limita a zonas no críticas o se realiza en elementos independientes de muestra.

Documentación y DIT

Finalmente, se verifica que toda la aplicación corresponde al sistema evaluado (por ejemplo, que se usaron exactamente las mismas resinas y tipos de fibra indicados en el DIT, y que los operarios estaban capacitados). Cualquier cambio de producto o variante debe estar justificado por la Dirección Facultativa y aprobado por la propiedad/aseguradora. Los DIT suelen incluir un listado de componentes del sistema; usar componentes de distinta procedencia invalida la certificación. Asimismo, la empresa aplicadora debe estar homologada por el fabricante, el uso de mano de obra no cualificada puede ser motivo de rechazo del sistema por parte del control de calidad.

En conclusión, el proceso de refuerzo con fibra de carbono es técnicamente exigente y requiere seguir una metodología estricta. Sin embargo, cuando se ejecuta correctamente, ofrece una solución de gran eficacia (incrementos notables de capacidad resistente), con mínima intrusión en la estructura existente y alta durabilidad. Su alineación con la normativa – asegurando el correspondiente DIT, cumplimiento del Código Estructural y control de calidad conforme a UNE – garantiza que estos refuerzos puedan ser usados de forma segura en proyectos de rehabilitación, reforzando estructuras de hormigón armado para las demandas del uso moderno y prolongando significativamente su vida útil.





05

TIPOLOGÍAS DE INTERVENCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS

1. Sistema de refuerzo a flexión
2. Sistema de refuerzo a cortante
3. Confinamiento de pilares y elementos comprimidos
4. Refuerzo de muros y estructuras de fábrica
5. Refuerzo sísmico de nudos

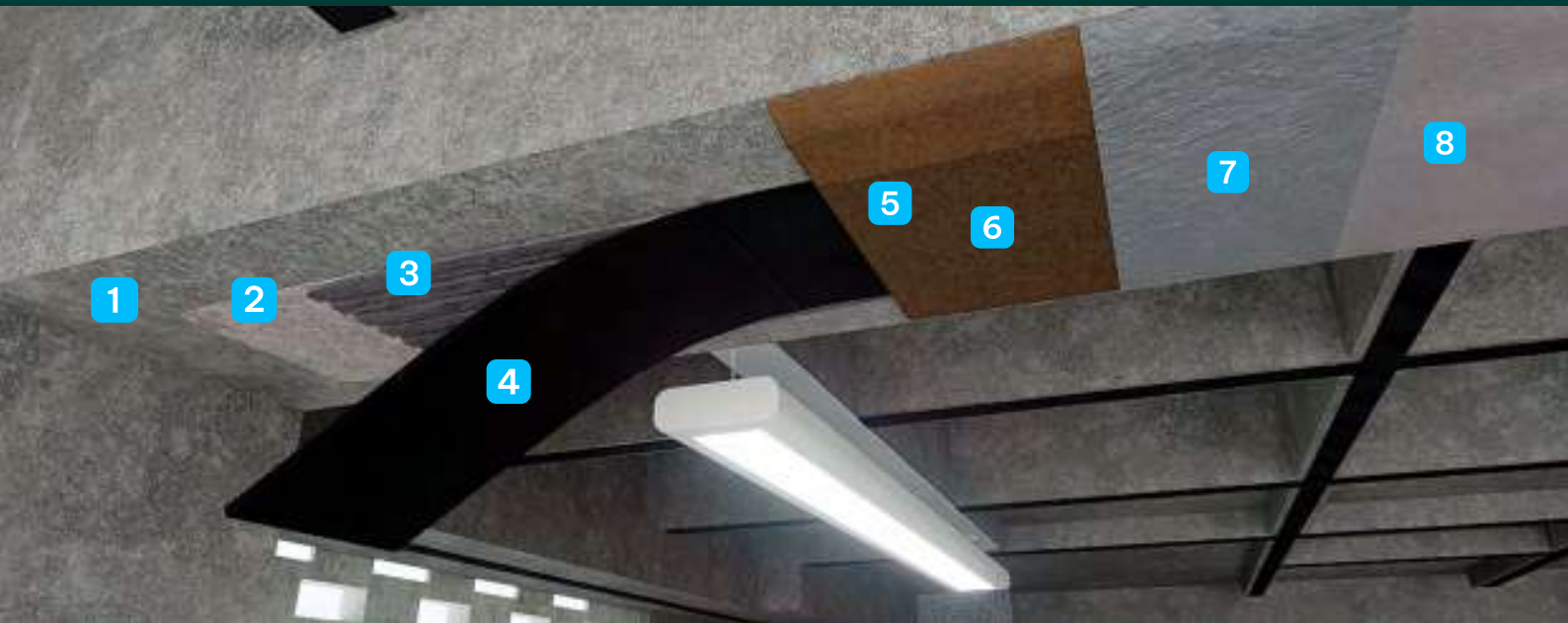
“Las fibras de carbono ofrecen una alternativa innovadora para el refuerzo estructural, combinando resistencia, ligereza y durabilidad.”



1. Sistema de refuerzo a flexión

PROPAM® CARBOCOM CONCRETE REINFORCEMENT

Sistema para el refuerzo de forjados a flexión con laminados de fibra de carbono



► Problemática técnica habitual

Incrementos de carga por cambio de uso; eliminación de apoyos o apertura de huecos; armaduras insuficientes; deterioro por corrosión; excesivas flechas y fisuración en servicio.

► Objetivo

Garantizar la seguridad y funcionalidad de las estructuras existentes mediante soluciones de refuerzo que compensen deficiencias de diseño, deterioro o cambios en las condiciones de carga, asegurando el cumplimiento normativo y la prolongación de su vida útil de forma rápida y eficaz, sin añadir peso significativo ni modificar la geometría del elemento.

► Descripción del sistema

El sistema de refuerzo a flexión mediante láminas rígidas de fibra de carbono consiste en adherir laminados CFRP PROPAM® CARBOCOM P en la cara inferior de las vigas para aumentar su capacidad resistente frente a esfuerzos de tracción.

Estas láminas, ligeras y de alta resistencia, se fija con adhesivo epoxi estructural PROPAM® CARBOCOM EPO P que garantizan la transferencia de cargas y la durabilidad del conjunto. El método permite mejorar el comportamiento estructural sin añadir peso significativo ni modificar la geometría, ofreciendo una solución rápida, eficaz y resistente a la corrosión para prolongar la vida útil de la estructura.

Puede haber situaciones donde puede justificarse la colocación del sistema en la cara superior como refuerzo negativo.

En ciertas situaciones estructurales, como en vigas continuas sobre varios apoyos, zonas de momento negativo o rehabilitación por fisuras superiores, es necesario aplicar el refuerzo en la cara superior, ya que es allí donde se concentran los esfuerzos de tracción que deben ser compensados por el laminado CFRP.



Productos que componen el sistema

1. Soporte de hormigón
2. PROPAM® REPAR EPO 93 - *Imprimación epoxi de baja viscosidad (Opcional)*
3. PROPAM® CARBOCOM EPO P - *Adhesivo*
4. PROPAM® CARBOCOM P - *Laminado de fibra de carbono (50-150 mm; $\approx 1,2-1,4$ mm; $E \approx 170, 200, 250$ Gpa; $f_{tk} > 2.500$ N/mm²)*
- PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR - *Conectores si se requieren anclajes complementarios en los cabezales*
5. PROPAM® REPAR EPO 93 - *Imprimación epoxi de baja viscosidad*
6. SILICE - *Espolvoreo de árido fino 0.3-0.5 mm*
7. PROPAM® REPAR TECHNO 20 - *Mortero de reparación*
8. PROPAM® CARBOPAINT - *Acabado estético y protección con pintura anticarbonatación a todo el elemento reforzado*



Guía rápida

Preparación del soporte

Limpiar la superficie y eliminar polvo, pintura y partes sueltas.
Reparar fisuras y regularizar geometría.
Comprobar resistencia de adherencia (pull-off $\geq 1,5$ MPa).
Aplicar PROPAM® REPAR EPO 93 como imprimación.

Colocación del sistema

Aplicar adhesivo epoxi PROPAM® CARBOCOM EPO P en la zona de refuerzo.
Adherir el laminado PROPAM® CARBOCOM P en la cara inferior (o superior si es refuerzo negativo).
Presionar con rodillo para garantizar impregnación y contacto.
Colocar conectores PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR si se requieren anclajes adicionales.
Espolvorear sílice sobre el adhesivo fresco para mejorar adherencia del acabado.

Curado y protección

Respetar tiempos de curado del adhesivo.
Aplicar mortero de reparación PROPAM® REPAR TECHNO 20 si es necesario.
Acabar con PROPAM® CARBOPAINT para protección UV y estética.

► Ventajas del sistema

- Aumento de capacidad sin sobrecarga de peso.
- Espesor mínimo; mantiene geometría.
- Ejecución rápida y versátil.
- Alta durabilidad, sin corrosión.

► Recomendaciones normativas y constructivas

- Soporte sano y rugoso; pull-off $\geq 1,5$ MPa. Radios en aristas. Temperatura soporte $> +5$ °C.
- Longitudes de anclaje suficientes y verificación ELU (Estado Límite Último) / ELS (Estado Límite de Servicio)
- Protección UV/impactos.

2. Sistema de refuerzo a cortante

PROPAM® CARBOCOM SHEAR REINFORCEMENT

Sistema para el refuerzo a cortante de vigas de hormigón con fibra de carbono



► Problemática técnica habitual

Insuficiencia de armadura transversal; grietas diagonales; aumento de cargas/luz; equilibrio con refuerzo a flexión; demandas sísmicas y dinámicas.

► Objetivo

Incrementar la capacidad resistente a cortante de vigas de hormigón mediante la instalación de un sistema externo con tejido de fibra de carbono y conectores, que permita corregir deficiencias de armadura transversal, controlar la propagación de grietas diagonales y garantizar el desempeño estructural frente a aumentos de carga, mayores luces y exigencias sísmicas o dinámicas.

► Descripción del sistema

El sistema de refuerzo a cortante para vigas de hormigón con tejido de fibra de carbono y conectores consiste en aplicar bandas de tejido de carbono PROPAM® CARBOCOM F impregnadas con resina epoxi sobre las caras laterales de la viga, generalmente en disposición vertical, en forma de U o envolvente completa, para aumentar la resistencia frente a esfuerzos cortantes.

Los conectores PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR se emplean para garantizar la transferencia de cargas entre el refuerzo y el hormigón, evitando el desprendimiento del tejido y mejorando la adherencia en zonas críticas. Este sistema es ligero, no invasivo y altamente eficaz para rehabilitación estructural, especialmente en elementos sometidos a altas sollicitaciones sísmicas o cargas dinámicas.



Productos que componen el sistema

1. Soporte de hormigón
2. PROPAM® REPAR EPO 93 - *Imprimación epoxi de baja viscosidad (Opcional)*
3. PROPAM® CARBOCOM EPO F - *Adhesivo*
4. PROPAM® CARBOCOM F - *225, 300 y 600 g/m² textil de fibra de carbono, ancho 300 mm (otros anchos consultar)*
5. PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR - *Conectores si se requieren anclajes complementarios en cabezales en 6,8 y 10 mm*
6. PROPAM® REPAR EPO F - *Imprimación*
7. SILICE - *Espolvoreo de árido fino 0.3-0.5 mm*
8. PROPAM® REPAR TECHNO 20 - *Mortero de reparación (Opcional)*
9. PROPAM® CARBOPAINT - *Acabado estético y protección con pintura anticarbonatación a todo el elemento reforzado*



Guía rápida

Preparación

- Limpiar la superficie del hormigón (sin polvo, grasa ni recubrimiento suelto).
- Reparar fisuras y regularizar aristas (radio ≥ 3 cm).
- Aplicar PROPAM® REPAR EPO 93 como imprimación epoxi.
- Colocación del sistema
- Aplicar PROPAM® CARBOCOM EPO F como adhesivo.

Colocar bandas de tejido de carbono PROPAM® CARBOCOM F

- Disposición vertical, en forma de U o envolvente completa.
- Orientación de fibras paralela al eje de la viga.
- Instalar PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR si se requieren anclajes adicionales en cabezales.
- Espolvorear sílice (0.3-0.5 mm) sobre resina fresca para mejorar adherencia.

Protección y acabado

- Aplicar PROPAM® REPAR TECHNO 20 para regularización, si fuera necesario.
- Terminar con PROPAM® CARBOPAINT para protección UV y estética.

► Ventajas del sistema

- Incremento de resistencia a cortante sin recrecidos.
- Intervención externa mínima y compatible con flexión.
- Mejora de ductilidad y control de fisuración.

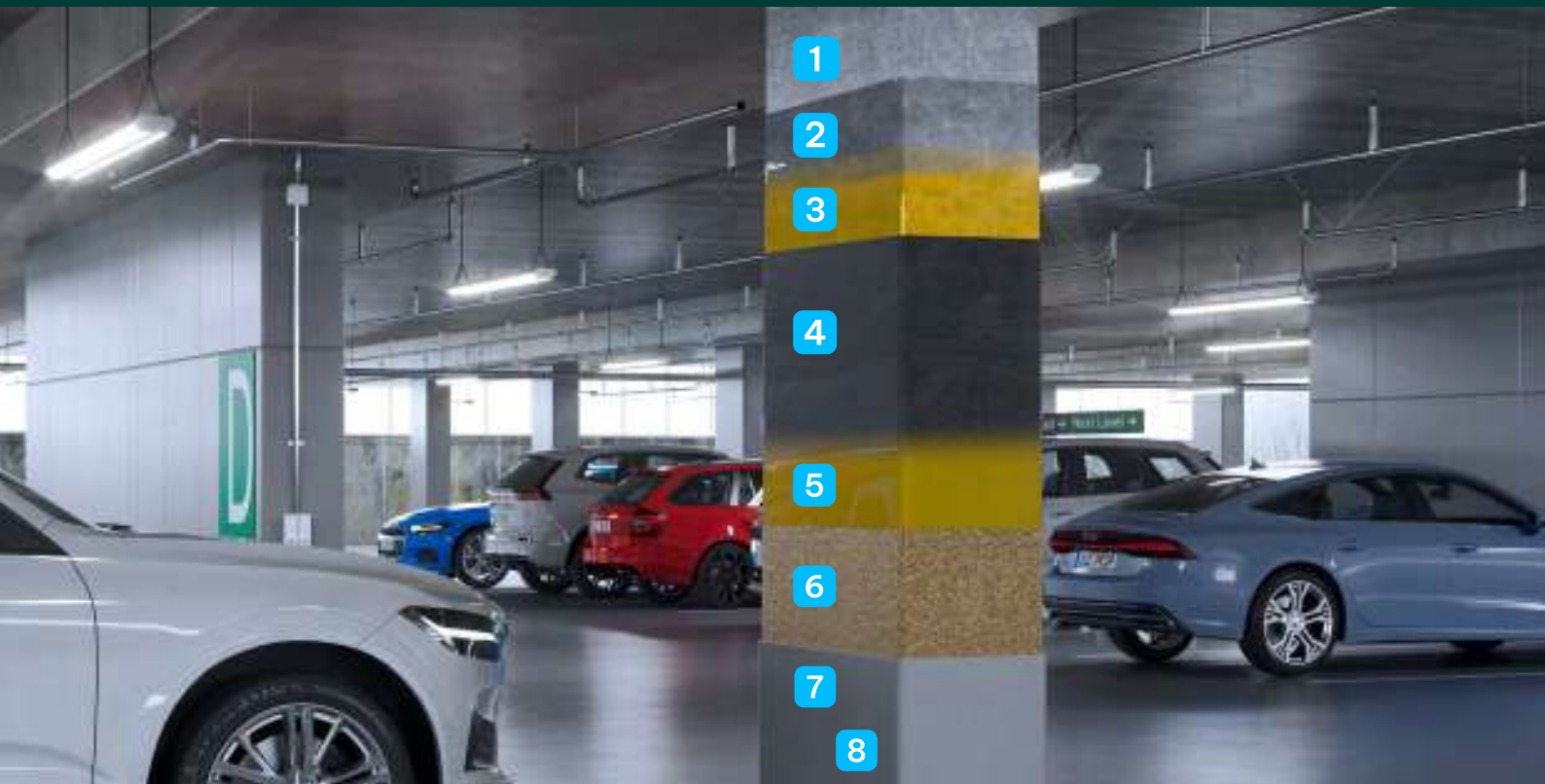
► Recomendaciones normativas y constructivas

- Limitar deformación de fibra. Redondear aristas ($r \geq 3$ cm).
- Solapes adecuados; control de adherencia.
- Protección final UV/ambiental.

3. Confinamiento de pilares y elementos comprimidos

PROPAM® CARBOCOM PILLAR REINFORCEMENT

Sistema para el refuerzo de pilares de hormigón con fibra de carbono



► Problemática técnica habitual

Insuficiente resistencia/ductilidad axial; baja resistencia a compresión, deficiente confinamiento; aumento de cargas; mejora sísmica; elementos cilíndricos.

► Objetivo

Mejorar la resistencia y ductilidad axial de pilares y elementos comprimidos mediante el confinamiento externo con tejido de fibra de carbono, asegurando un incremento en la capacidad a compresión, control de deformaciones y mejora del comportamiento sísmico, especialmente en casos de insuficiente armadura, aumento de cargas o geometrías cilíndricas.

► Descripción del sistema

Refuerzo estructural mediante el encamisado del pilar con el empleo de tejido unidireccional de fibra de carbono (CFRP) PROPAM® CARBOCOM F de gran resistencia mecánica a la tracción, aumentando las prestaciones mecánicas del mismo por confinamiento. El sistema comprende el uso de tejidos de carbono por impregnación y adhesión de la fibra a partir de un sistema completo de resinas PROPAM® CARBOCOM EPO F. Repercute en la capacidad resistente de los elementos de hormigón armado para obras sometidas a un aumento de cargas de servicio.

La envoltura circunferencial con tejido PROPAM® CARBOCOM F como zuncho continuo limita la dilatación transversal del hormigón, aumentando resistencia y, sobre todo, ductilidad. Redondear aristas en caso necesario y repetir pasos 2 y 3 en caso de ser necesarias más capas.



Productos que componen el sistema

1. Soporte de hormigón
2. PROPAM® REPAR EPO 93 - *Imprimación epoxi de baja viscosidad (Opcional)*
3. PROPAM® CARBOCOM EPO F - *Adhesivo*
4. PROPAM® CARBOCOM F - *225, 300 y 600 g/m² textil de fibra de carbono, ancho 300 mm (otros anchos consultar)*
5. PROPAM® REPAR EPO F - *Imprimación*
6. SILICE - *Espolvoreo de árido fino 0.3-0.5 mm*
7. PROPAM® REPAR TECHNO 20 - *Mortero de reparación*
8. PROPAM® CARBOPAINT - *Acabado estético y protección con pintura anticarbonatación a todo el elemento reforzado*



Guía rápida

Preparación

Limpiar la superficie del pilar (sin polvo, grasa ni recubrimiento suelto).
Reparar fisuras y regularizar aristas (radio ≥ 3 cm).
Aplicar PROPAM® REPAR EPO 93 como imprimación epoxi.

Colocación del sistema

Aplicar adhesivo PROPAM® CARBOCOM EPO F.
Colocar tejido de fibra de carbono PROPAM® CARBOCOM F:
Envoltura circunferencial continua (como zuncho).
Orientación de fibras perpendicular al eje del pilar para confinamiento.
Espolvorear sílice (0.3-0.5 mm) sobre resina fresca para mejorar adherencia.
Repetir pasos si se requieren más capas.

Protección y acabado

Aplicar PROPAM® REPAR TECHNO 20 para regularización.
Terminar con PROPAM® CARBOPAINT para protección UV y estética.

► Ventajas del sistema

- Aumento de capacidad axial y gran mejora de ductilidad.
- Sin incremento significativo de sección; intervención rápida.
- Beneficio clave en desempeño sísmico.

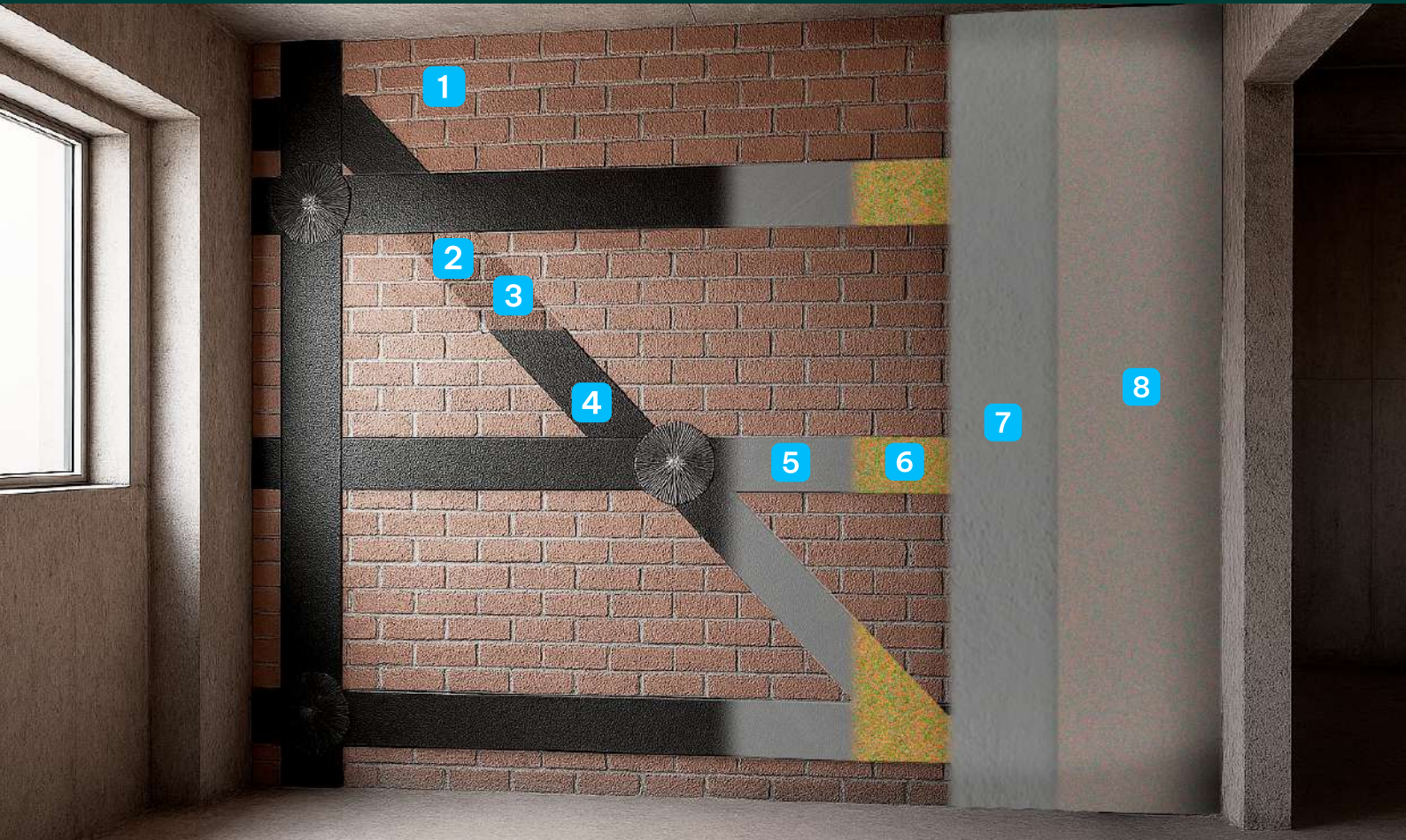
► Recomendaciones normativas y constructivas

- Modelos de hormigón confinado y límite de deformación de fibra.
- Preparación de soporte y marcado de solapes; protección mecánica/UV.
- Verificación de estabilidad accidental.

4. Refuerzo de muros y estructuras de fábrica

PROPAM® CARBOCOM WALL REINFORCEMENT

Sistema para el refuerzo de muros de fábrica con fibra de carbono



► Problemática técnica habitual

Baja resistencia a tracción/cortante; fisuración diagonal por sismo; pandeo fuera del plano; apertura de vanos; estabilización en patrimonio.

► Objetivo

Mejorar el comportamiento estructural de muros y elementos de fábrica frente a esfuerzos de tracción, cortante y flexión, mediante soluciones de refuerzo superficial con materiales compuestos de fibra de carbono, garantizando estabilidad, seguridad y durabilidad, con mínima afectación estética y constructiva.

► Descripción del sistema

Aplicación superficial de tejido PROPAM® CARBOCOM F por una o ambas caras (bandas verticales/horizontales, malla o X). Conectores PROPAM® CARBOCOM para coser caras en refuerzos bicara. En muros de HA delgados, puede utilizarse laminados PROPAM® CARBOCOM P para flexión fuera del plano.



Productos que componen el sistema

1. Soporte muro
2. PROPAM® REPAR EPO 93 - *Imprimación epoxi de baja viscosidad (Opcional)*
3. PROPAM® CARBOCOM EPO F - *Adhesivo*
4. PROPAM® CARBOCOM F - *225, 300 y 600 g/m² textil de fibra de carbono, ancho 300 mm (otros anchos consultar)*
5. PROPAM® REPAR EPO F - *Imprimación*
6. SILICE - *Espolvoreo de árido fino 0.3-0.5 mm*
7. PROPAM® REPAR TECHNO 20 - *Mortero de reparación*
8. PROPAM® CARBOPAINT - *Acabado estético y protección con pintura anticarbonatación a todo el elemento reforzado*



Guía rápida

Preparación

Limpiar la superficie del muro (retirar polvo, pintura y mortero suelto).

Reparar fisuras y juntas deterioradas.

Aplicar PROPAM® REPAR EPO 93 como imprimación epoxi (especialmente si el soporte es muy poroso).

Colocación del sistema

Aplicar adhesivo PROPAM® CARBOCOM EPO F.

Colocar tejido de fibra de carbono PROPAM® CARBOCOM F:

Disposición según diseño: bandas verticales/horizontales, en X.

Para refuerzo bicara: instalar PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR para coser ambas caras.

Espolvorear sílice (0.3-0.5 mm) sobre resina fresca para mejorar adherencia.

En muros delgados de HA: usar laminados PROPAM® CARBOCOM P para flexión fuera del plano.

Protección y acabado

Aplicar PROPAM® REPAR TECHNO 20 para regularización.

Terminar con PROPAM® CARBOPAINT para protección UV y estética (ocultable bajo revoco/pintura).

► Ventajas del sistema

- Refuerzo integral con mínimo espesor.
- Conservación estética (ocultable bajo revoco/pintura).
- Ligereza y mínima intrusión; modular.

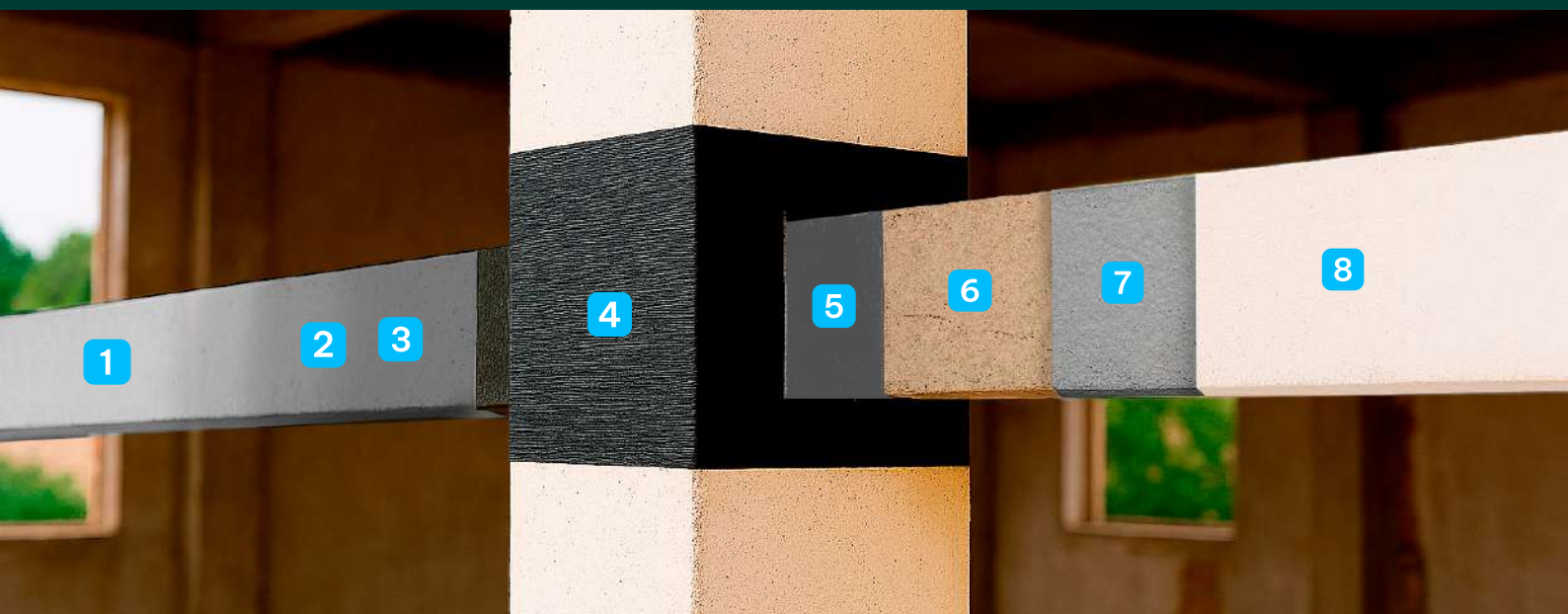
► Recomendaciones normativas y constructivas

- Ensayos de adherencia previos; imprimación si soporte muy poroso.
- Impregnación completa y distribución de conectores.
- Acabado protector y documentación "as built".

5. Refuerzo sísmico en muros

PROPAM® CARBOCOM SEISMIC REINFORCEMENT

Sistema de refuerzo sísmico en nudos a base de fibra de carbono con alta eficiencia estructural



► Problemática técnica habitual

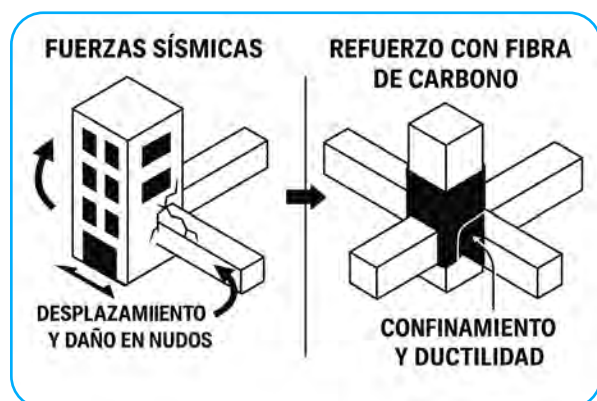
Durante un sismo, las fuerzas horizontales generan desplazamientos y aceleraciones que provocan esfuerzos cortantes y momentos en los nudos de las estructuras de hormigón armado. Estos nudos son puntos críticos porque concentran la transferencia de cargas entre vigas y pilares. Si no están adecuadamente confinados, pueden sufrir fisuración, pérdida de rigidez y, en casos extremos, colapso progresivo. La falta de ductilidad en los nudos es una de las principales causas de fallos estructurales en zonas sísmicas.

► Objetivo

Aumentar la capacidad de los nudos para resistir esfuerzos cortantes y mejorar su ductilidad, asegurando que el edificio disipe energía sin colapsar. El refuerzo con fibras de carbono textiles (FRP o TRM) proporciona confinamiento adicional y refuerza las zonas críticas sin aumentar significativamente el peso ni la sección. Estas fibras actúan como una “armadura externa” que envuelve el nudo y las caras de vigas y pilares, evitando la apertura de fisuras y mejorando la integridad estructural frente a cargas sísmicas.

► Descripción del sistema

Se trata de estrategias combinadas: confinamiento de columnas y nudos (tejido PROPAM® CARBOCOM F + EPO F), flexión con laminados (PROPAM® CARBOCOM P + EPO P) y cortante con tejido (PROPAM® CARBOCOM F + EPO F) en U en vigas, refuerzo de muros (tejido PROPAM® CARBOCOM F + EPO F en X), anclajes con PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR. Intervención de espesor mínimo y masa despreciable.



Productos que componen el sistema

1. Soporte de hormigón
 2. PROPAM® REPAR EPO 93 - *Imprimación epoxi de baja viscosidad (Opcional)*
 3. PROPAM® CARBOCOM EPO F - *Adhesivo tejido*
 4. PROPAM® CARBOCOM F - *225, 300 y 600 g/m² textil de fibra de carbono, ancho 300 mm (otros anchos consultar)*
 5. PROPAM® REPAR EPO F - *Imprimación tejido*
- PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR - *Anclajes y cosidos si fuera necesario*
6. SILICE - *Espolvoreo de árido fino 0.3-0.5 mm*
 7. PROPAM® REPAR TECHNO 20 - *Mortero de reparación*
 8. PROPAM® CARBOPAINT - *Acabado estético y protección con pintura anticarbonatación a todo el elemento reforzado*

Guía rápida

Preparación

Limpiar la superficie del hormigón (sin polvo, grasa ni recubrimiento suelto).
Reparar fisuras y regularizar la geometría del nudo. (GAMA PROPAM® REPAR)
Aplicar imprimación epoxi PROPAM® REPAR EPO 93

Colocación de piezas en L

Cortar textiles PROPAM® CARBOCOM F en forma de L para cubrir cara de viga + cara de pilar.
Orientar fibras principales: Dirección de la viga o $\pm 45^\circ$ para cortante.
Longitud mínima de anclaje: ≥ 300 mm en cada elemento.
Colocar en los cuatro planos del nudo.
Presionar con rodillo para asegurar impregnación PROPAM® CARBOCOM EPO F.

Colocación de envoltente del pilar

Rodear el pilar en la zona del nudo con bandas textiles PROPAM® CARBOCOM F.
Solapar las piezas realizadas en forma de L al menos >200 mm.
Si es posible, extender hacia las caras de las vigas para mayor confinamiento.
Colocar conectores PROPAM® CARBOCOM CONNECTOR si no fuera posible envolver el pilar.

Curado y protección

Seguir tiempos y condiciones de curado según Ficha técnica.
Aplicar capa protectora PROPAM® REPAR TECHNO 20 (mortero), PROPAM® CARBOPAINT rayos UV, o mortero ignífugo en caso necesario.

► Ventajas del sistema

- Alta resistencia y ligereza: mejora la capacidad sísmica sin añadir peso significativo.
- Instalación rápida y no invasiva: no requiere grandes demoliciones ni aumento de sección.
- Compatibilidad con estructuras existentes: ideal para rehabilitación en edificios dañados u obra de nueva construcción.
- Flexibilidad en diseño: Diseños en L y envoltente adaptables a diferentes geometrías.
- Durabilidad: resistencia a corrosión y agentes químicos.
- Mejora del confinamiento: reduce fisuración y evita fallos frágiles en nudos críticos.

► Recomendaciones normativas y constructivas

- Preparar superficie (limpieza y reparación de fisuras).
- Aplicar imprimación según sistema (FRP o TRM).
- Orden: primero conformando en forma de L, luego envoltente del pilar.
- Controlar orientación de fibras: Paralelas a la viga en aplicaciones en L y perpendiculares al pilar en envoltente.
- Curado y protección final contra fuego si es requerido y rayos UV.
- Guía americana ACI 440.2R: Longitud mínima de anclaje ≥ 300 mm, solapes ≥ 200 mm, orientación de fibras $\pm 45^\circ$ para cortante.
- Guía Italiana CNR-DT200: continuidad en esquinas y compatibilidad matriz-textil.
- Guía española EHE-08: aplicación en zonas críticas sísmicas y control de adherencia

06

DOCUMENTACIÓN Y NORMATIVA DE REFERENCIA

- *Pliego del sistema PROPAM® CARBOCOM - Molins Construction Solutions.*
- *Fichas Técnicas - PROPAM® CARBOCOM P, F, EPO P, EPO F, CONNECTOR.*
- *Documento de Idoneidad Técnica - DIT 603R/25 (IETcc-CSIC).*
- *Código Estructural - RD 470/2021*
- *fib Bulletin 90 - Externally bonded FRP reinforcement for concrete structures.*





07

SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE



En Molins estamos comprometidos con la innovación y la sostenibilidad para luchar contra el cambio climático y con un mismo propósito compartido: queremos impulsar el desarrollo social y la calidad de vida de las personas creando soluciones innovadoras y sostenibles para la construcción.

En el 2024 hemos lanzado la gama de productos Susterra que nace para impulsar nuestros objetivos de sostenibilidad y los de nuestra cadena de valor. La nueva gama agrupa y distingue aquellas soluciones dentro de nuestro portfolio con atributos de sostenibilidad basados en tres palancas: Economía Circular, Descarbonización y Salud y Bienestar.

Seguimos trabajando para reducir nuestro impacto ambiental sin dejar de garantizar la máxima calidad de nuestras soluciones, lo que nos lleva a disponer de +100 productos con Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) o 80 productos con certificación Emicode EC1Plus, además de la incorporación de envases de plástico con plástico reciclado o de materias primas recicladas.



08 SOBRE NOSOTROS



Construction Solutions (antes Propamsa) somos el negocio de Molins que ofrece al mercado soluciones integrales para la construcción: sistemas de colocación cerámica, revestimientos de fachada y SATE, morteros especiales y resinas.

Contruimos el presente, impulsamos el futuro.

Nuestras soluciones engloban sistemas de colocación cerámica y juntas, revestimientos de cal, fachadas y SATE, morteros especiales y resinas para las siguientes aplicaciones: protección, reparación, inyección, refuerzo de estructuras, relleno y anclaje, impermeabilización, aislamiento y pavimentación.

Acompañamos a nuestros clientes en las distintas fases de los proyectos constructivos de cualquier tipología, ya sea obra civil, edificación o industria, y desde pequeñas reformas hasta grandes infraestructuras. Los acompañamos desde la prescripción hasta la ejecución y asesoramiento directamente en obra o en los más de 1.500 puntos de venta en los que estamos presentes.

Tras más de 90 años de historia y el lanzamiento del primer cemento cola al mercado bajo la marca PAM, mantenemos las fortalezas que nos han traído hasta aquí: la calidad de nuestros productos, la cercanía de nuestra red comercial con nuestros clientes, nuestra especialización y experiencia, así como nuestro compromiso con la innovación y las soluciones sostenibles.

En Molins estamos comprometidos con la innovación y la sostenibilidad para luchar contra el cambio climático y con un mismo propósito compartido: queremos impulsar el desarrollo social y la calidad de vida de las personas creando soluciones innovadoras y sostenibles para la construcción. En el 2024 hemos lanzado la gama de productos Susterra que nace para impulsar nuestros objetivos de sostenibilidad y los de nuestra cadena de valor.

Un negocio con más de 90 años de historia

