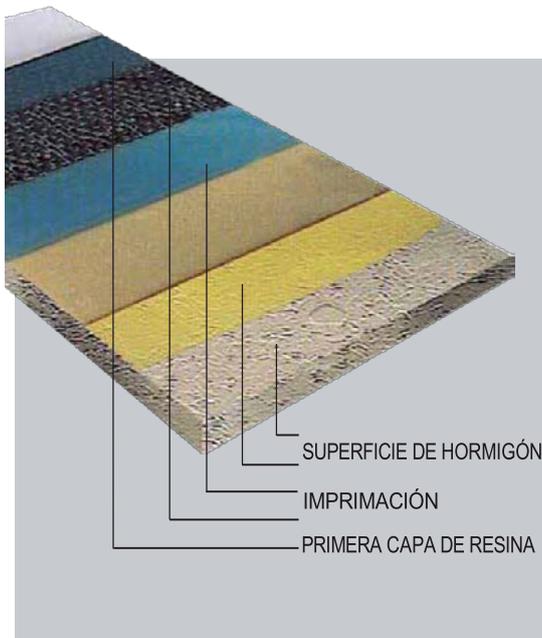


Estudio Técnico



Edición Junio 2016

Manual de aplicación de sistemas de refuerzo MasterBrace



MasterBrace P 3500: Imprimación epoxi de baja viscosidad para sellar los poros del hormigón

MasterBrace ADH 4000: Pasta epóxidica espatulable para regularización de la superficie y adhesivo del MasterBrace LAM y BAR

MasterBrace ADH 4500: Impregnación epoxi para fijación y encapsulamiento de MasterBrace FIB y NET

Hojas de fibra MasterBrace FIB: Tejidos de fibra de carbono

Laminados MasterBrace LAM: Laminados preformados de fibra de carbono

Barras MasterBrace BAR: Barras de fibra de carbono

Mallas MasterBrace NET: Mallas de fibra de carbono y de vidrio

BASF Construction Chemicals España, S.L.
Carretera del Mig, 219
08907 L'Hospitalet de Llobregat
Barcelona
Tel. +34 93 261 61 00
Fax + 34 93 261 62 19
www.master-builders-solutions.basf.es
basf-cc@basf-cc.es

ÍNDICE

1	SISTEMA MASTERBRACE, UN MATERIAL COMPUESTO	3
1.1	¿Qué es un material compuesto o “FRP”?	3
1.2	¿Qué razones motivan el uso de materiales compuestos?	3
1.3	¿Qué ventajas aporta emplear materiales tan ligeros para el refuerzo de estructuras?	4
1.4	¿Cuál es la durabilidad de estos materiales frente ambientes agresivos en construcción?	5
1.5	¿Cuál es el comportamiento de estos materiales ante temperaturas elevadas?	6
2	SISTEMA MASTERBRACE, UN REFUERZO ADHERIDO	7
2.1	¿Qué diferencias hay entre un refuerzo paralelo y un refuerzo colaborante?	7
2.2	¿Reforzar adheriendo MasterBrace: a flexión, a cortante y a confinamiento?	7
2.3	¿Es posible anclar mecánicamente la fibra al soporte?	8
3	REPARACIÓN ESTRUCTURAL PREVIA	11
3.1	¿Qué importancia tiene la reparación previa?	11
3.2	¿Previamente hay que inyectar las fisuras existentes?	12
4	PREPARACIÓN DEL SOPORTE	13
4.1	¿Qué tratamiento del soporte se recomienda?	13
4.2	¿Qué regularidad requiere un refuerzo a flexión para ser eficiente?	15
4.3	¿Cuánto hay que regularizar las aristas externas?	15
4.4	Aplicación de MasterBrace LAM.	16
4.5	Aplicación de MasterBrace FIB.	19
4.6	Aplicación de MasterBrace NET.	21
4.7	Aplicación de MasterBrace BAR.	22
5	CONTROL DE CALIDAD	24

1 SISTEMA MASTERBRACE, UN MATERIAL COMPUESTO

1.1 ¿Qué es un material compuesto o “FRP”?

Los materiales compuestos, a base de una matriz sintética y armados con fibra resistente, también denominados FRP *Fiber Reinforced Polymer* se han usado, con éxito y durante muchos años, en la industria aeronáutica y de la automoción, y más recientemente en artículos industriales (deportivos, etc.). En la actualidad, este tipo de materiales nos permite hacer refuerzos de estructuras de hormigón armado, con una serie de ventajas respecto de los refuerzos tradicionales.

Un material compuesto está constituido por una matriz de resina sintética que aglutina un conjunto de fibras resistentes continuas. La naturaleza de la matriz, el tipo de fibra, y la proporción entre ellas, determinará las prestaciones y propiedades del material compuesto.

Cuerpo y esqueleto

El esqueleto de un material compuesto es la fibra, extremadamente resistente, embebida en un cuerpo plástico de resina, extremadamente adherente.

Fabricar este material compuesto puede ser un proceso industrializado o realizarse in situ de forma manual o mecanizada.

Esqueleto (tipo de fibra)

Según los requisitos a exigir al material compuesto, se determinará el tipo de fibra a emplear. El sistema MasterBrace emplea fibra de carbono que en el caso del refuerzo con malla también puede ser de vidrio. Cada tipo de fibra tiene su campo de aplicación diferenciado siendo el de la fibra de carbono para respuesta estructural.

Cuerpo (tipo de resina)

La resina ligante en el caso de las hojas y la malla, y la resina adhesivo en el caso del laminado y de las barras, deberá cumplir los requisitos mecánicos, de capacidad adherente y de puesta en obra. En construcción es casi exclusivo el empleo de resinas de naturaleza epoxi, debidamente diseñadas y con Marcado CE en base a la UNE EN 1504-4.

MasterBrace: un sistema completo

Las fibras y resinas incluidas en el sistema MasterBrace gozan de ensayos específicos que garantizan una completa compatibilidad en la adhesión y transmisión de esfuerzos. Son necesarios ensayos de laboratorio e “in situ” que validen el uso de los distintos adhesivos sintéticos.

1.2 ¿Qué razones motivan el uso de materiales compuestos?

El uso de materiales compuestos viene motivado, básicamente por:

- Prestaciones mecánicas muy elevadas
- Peso muy reducido
- Elevada durabilidad en ambientes agresivos
- Facilidad de instalación

El peso de MasterBrace LAM 50/1.4 de fibra de carbono es de 120 gramos por metro lineal. Las hojas de fibra de carbono pesan entre 300 y 450 gramos por metro cuadrado. La necesidad de apuntalamiento se reduce o es innecesaria, al contrario de lo que ocurre en otros tipos de refuerzos.

El correcto aprovechamiento de estas propiedades (elevada resistencia, bajo peso y ausencia de mantenimiento) aporta numerosas ventajas en construcción, especialmente en trabajos de reparación, refuerzo y rehabilitación. En particular su aplicación a modo de refuerzos externos adheridos supone ventajas técnicas y económicas, frente al tradicional empleo de chapa metálica. Se consigue mayor calidad de ejecución, con una rápida y fácil puesta en obra, sin necesidad de apuntalamiento ni medios auxiliares costosos.

La reducción del coste de estos materiales y el incremento del precio de la mano de obra, han facilitado su introducción en el ámbito de la construcción.

1.3 ¿Qué ventajas aporta emplear materiales tan ligeros para el refuerzo de estructuras?

La elevada resistencia aunada a una extrema ligereza permite fabricar compuestos de muy pequeño espesor. Al ser flexibles, se pueden almacenar y suministrar en rollos continuos. La ejecución de refuerzos, entonces, se simplifica.

No es preciso apuntalar

Los materiales compuestos empleados pesan tan poco que normalmente no es necesario apuntalar el refuerzo incluso en soportes curvos. La consistencia de los adhesivos empleados permite su sujeción en fresco, debido al efecto ventosa del adhesivo. Sólo en casos muy concretos con longitudes de laminado elevadas, puede ser recomendable colocar puntales de forma muy localizada.



No es preciso soldar

Estos materiales se suministran en rollos de hasta 50 metros. Los rollos pesan poco, son fácilmente transportables, y se cortan con facilidad en obra. Por ello, y a diferencia de las chapas de acero, no son necesarias soldaduras para alcanzar grandes luces. La posibilidad de hacer solapes, evita el tener que hacer soldaduras para dar continuidad al refuerzo.



Fácil instalación bajo instalaciones existentes

La flexibilidad de los compuestos, la ligereza y el reducido espesor (de 1 a 2 mm) permite ejecutar refuerzos con instalaciones existentes. Esto supone un ahorro económico y en tiempo debido a la no necesidad de retirar de forma temporal instalaciones (agua, luz, etc.).



Facilidad de cruces

En refuerzos bidireccionales (por ejemplo en un forjado reticular), debido a los pequeños espesores, los cruces se realizan con suma facilidad. El espesor aportado es sensiblemente menor al de otros sistemas alternativos.



Adaptabilidad a formas curvas

La flexibilidad de los compuestos permite la adaptación a geometrías complejas, por ejemplo: pilares, chimeneas, bóvedas. Supone un ahorro en mano de obra respecto al empleo de chapa de acero.



El espesor del refuerzo es mínimo

Los espesores aportados al elemento reforzado son mínimos. A lo sumo estos espesores serán de 3 mm (incluyendo el espesor del adhesivo). Con el adecuado tratamiento estos refuerzos pueden ser cubiertos por: mortero, yeso, pinturas, resinas, etc. La geometría del elemento reforzado es idéntica a la inicial: a nivel estético, por motivos de espacio, etc. El recubrimiento se realiza por motivos estéticos, ya que el refuerzo con carbono no necesita protección (a excepción de requerirse una protección frente al fuego).



1.4 ¿Cuál es la durabilidad de estos materiales frente ambientes agresivos en construcción?

Los materiales compuestos MasterBrace, a base de fibra de carbono, y resina sintética, no presentan oxidación. Los ensayos realizados en laboratorio de envejecimiento acelerado, y de acuerdo a la experiencia acumulada con estos materiales (30 años en aeronáutica y 15 años en construcción) permiten garantizar unos valores mínimos de resistencia a lo largo de la vida útil del refuerzo. En ambientes extremadamente agresivos (cubetos en industria química, por ejemplo) pueden ser requeridos revestimientos protectores adicionales según el caso.

El sistema MasterBrace dispone de ensayos de envejecimiento acelerado realizados en condiciones muy severas: ciclos hielo-deshielo, ciclos rayos ultravioletas, inmersión en medios altamente alcalinos. Tras el ensayo se llevan a rotura numerosas probetas con objeto de verificar la resistencia mecánica.

Durabilidad es calidad

Un refuerzo realizado con materiales de elevada durabilidad, y a igual capacidad portante, supone mayor calidad para el usuario.

Sin necesidad de mantenimiento

La no oxidación de las fibras, y la naturaleza sintética de las resinas permite prescindir de los tratamientos anticorrosivos habituales en el empleo de pletinas y perfilería metálica.

Protección adicional a la estructura existente.

Las resinas empleadas para la adhesión del material compuesto o en su fase de fabricación aportan protección total o parcial a la estructura existente. En el confinamiento de pilares la protección puede ser total frente al agua y a los agentes atmosféricos, protegiendo el armado existente en el pilar.

1.5 ¿Cuál es el comportamiento de estos materiales ante temperaturas elevadas?

La naturaleza plástica de la matriz y del adhesivo, a base de resina epoxi, limita la temperatura máxima a soportar por el refuerzo. Según el tipo de resina y el grado de endurecimiento de ésta, la temperatura de transición vítrea se sitúa entre los 45 y los 70°C.

Adicionalmente, según los requisitos y condiciones de obra, es posible aportar protecciones especiales: revestimientos reflejantes, morteros aislantes del calor, etc.

Este deficiente comportamiento al fuego (idéntico en el pegado de chapas y pletinas con resina epoxi) debe tenerse en cuenta en fase de diseño. En este sentido, sólo se acometerán actuaciones de refuerzo en estructuras que garanticen un coeficiente residual de seguridad superior a 1, donde el fallo del refuerzo, no suponga el colapso de la estructura.

El peso propio del refuerzo es mínimo

En caso de incendio la eficiencia del refuerzo se pierde debido al fallo de la resina. Asimismo para los equipos de emergencia, y debido a la ligereza de los materiales compuestos, la caída del refuerzo no supone un peligro. Es habitual en refuerzos realizados con chapa disponer en proyecto anclajes adicionales de atado en caso de pérdida de adherencia. Este requisito para refuerzos con MasterBrace no es necesario.

Toxicidad de los humos en caso de incendio

Las resinas del sistema MasterBrace disponen de ensayos que evalúan la toxicidad de los humos en caso de incendio. Este aspecto es de vital importancia en zonas de difícil ventilación tales como: túneles, galerías, sótanos, etc.

2 SISTEMA MASTERBRACE, UN REFUERZO ADHERIDO

2.1 ¿Qué diferencias hay entre un refuerzo paralelo y un refuerzo colaborante?

Un refuerzo estructural se puede clasificar, según sea su modo de trabajo en: refuerzo paralelo o refuerzo colaborante.

Un refuerzo paralelo al elemento existente absorberá parcial o totalmente las cargas que recibía el elemento original. No será necesario que el refuerzo aportado y el elemento existente trabajen como un todo uno. Simplemente se exigirá que haya una correcta entrega de cargas (retacando holguras con morteros sin retracción) de uno a otro. Este tipo de refuerzos permite desprestigiar la contribución estructural del elemento original (de desconocerse o ser desprestigiable). Estas soluciones se emplean con frecuencia en:

- Forjados con aluminosis o de madera en mal estado, dónde se desprestia a largo plazo su contribución.
- Sobrecargas muy elevadas, dónde la capacidad original del forjado es desprestigiable.

Este tipo de refuerzos se resuelven con estructura metálica, o secciones mixtas a base de perfiles de chapa de acero y mortero de elevadas prestaciones. Esta tipología de refuerzos, muy masivas, suponen pérdidas de altura y espacio libre, muy penalizadas en edificación.

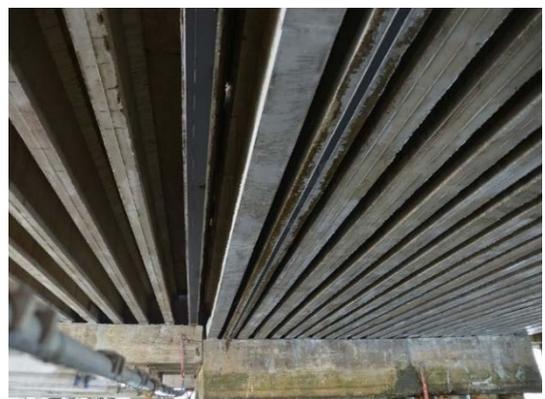
Un refuerzo colaborante, por el contrario, trabajará de forma conjunta con el elemento existente formando una nueva sección. Esto se consigue, habitualmente, aportando cuantía a tracción, ya sea recreciendo la sección e incorporando barras corrugadas, o adhiriendo pletinas de acero o material compuesto. La transmisión de esfuerzos entre lo existente y el refuerzo aportado se puede conseguir mediante conexión mecánica o adhesión química.

El sistema de refuerzo MasterBrace reforzará la estructura en tanto ésta sea capaz, al deformarse, de movilizar tracciones en el material compuesto adherido. Es decir, el único mecanismo de transmisión de esfuerzos entre el hormigón del soporte y las fibras, y entre fibras continuas, será por fenómenos de adherencia.

2.2 ¿Reforzar adhiriendo MasterBrace: a flexión, a cortante y a confinamiento?

Refuerzos adheridos en vigas, losas y forjados.

Se conseguirá reforzar vigas, losas y forjados, mediante la adhesión longitudinal de fibra muy resistente, colaborando al unísono con el armado interno. Se reforzará en aquella longitud que sea necesaria, según las cargas y el armado que contenga el elemento. Idénticamente, a cortante, colaboraremos con los estribos existentes, adhiriendo, por la parte externa compuestos MasterBrace, en distintos formatos. En todos los casos un fallo de adherencia es un fallo del refuerzo.



Refuerzo de laminados MasterBrace LAM

Refuerzos adheridos a confinamiento en pilares y columnas.

Se reforzará a confinamiento elementos tales como pilares, columnas, chimeneas, capiteles, etc. La disposición de la fibra, abrazando el elemento, por adhesión al soporte y a ella misma en el solape, incrementará la carga última total, al no permitir que expanda radialmente por efecto de las cargas verticales. En todos los casos un fallo de adherencia es un fallo del refuerzo.



Refuerzo a cortante en vigas.



Refuerzo mediante confinamiento de pilares y capiteles

2.3 ¿Es posible anclar mecánicamente la fibra al soporte?

Por naturaleza, un material compuesto es un material fibroso, conformado por una matriz sintética que aglutina y lo adhiere al soporte. A lo sumo contendrá fibras orientadas en una o dos direcciones, es decir, que estamos trabajando con materiales uni o bidireccionales. A diferencia del acero, que es un material isótropo (presenta idénticas propiedades resistentes en todas direcciones), los materiales compuestos sólo resisten en una, o máximo dos direcciones. Debido a esto los refuerzos con MasterBrace no aceptan anclajes ni disparos para ser anclados al soporte en caso de que estos atraviesen la fibra. Si así se hiciera, al entrar en carga el compuesto (al traccionarse por flechado de la viga, por ejemplo), y debido a la baja resistencia en orientaciones distintas a las de las fibras, el compuesto se desgarraría alrededor del anclaje. Debido a ello, los materiales compuestos siempre van adheridos.

De ello se deduce que, siempre, sea cuál sea la disposición de las fibras y el motivo del refuerzo, será necesario suponer como hipótesis de partida condiciones de “perfecta adherencia”.

Esto es equivalente a afirmar que en cualquier refuerzo por adhesión: aquello que adhiramos, cuándo rompa, lo haga o por bien por rotura de las fibras, o bien por arrancamiento del soporte (hormigón, madera, mampostería).

En el diseño del refuerzo no se admite un fallo prematuro ocasionado por: mala adherencia del hormigón, falla del adhesivo o mala adherencia al material compuesto.

Calidad del soporte

La eficiencia de este tipo de refuerzos puede venir limitada por la resistencia del elemento que reforzamos. Es decir, el máximo que se puede reforzar un elemento lo limita la resistencia propia del soporte a ser arrancado. A partir de este límite, adherir más compuestos MasterBrace no incrementa la respuesta del elemento, porque el soporte no lo aprovecha.

Preparación del soporte

Reforzar un elemento por adhesión, requiere, en cualquier caso, tratamientos previos hasta conseguir un soporte sano y firme. En soportes de hormigón será preciso eliminar la lechada de cemento existente. De igual modo será imprescindible garantizar la limpieza de los paramentos a unir (soporte y compuesto).

Correcta adhesión

La condición de adherencia perfecta requiere una adecuada preparación, mezcla y aplicación de las resinas y adhesivos empleados. Se seguirán las recomendaciones habituales para el empleo de adhesivos estructurales, especialmente a lo que refiere a temperatura de aplicación y humedad de soporte.

Longitud de anclaje

Si los compuestos MasterBrace trabajan a tracción pura, y la transmisión de esfuerzos con el soporte es por adhesión, se deduce que se requerirá en cada caso (según el tipo de compuesto y de soporte) una longitud de anclaje mínima por prolongación recta, como si de una barra de acero corrugada se tratara. En cada caso, el diseño del refuerzo deberá garantizar su ejecución. De no ser posible (por existencia de instalaciones o no ser accesible) se diseñaran dispositivos específicos de anclaje.

Diseño de dispositivos de anclaje específicos

Cuándo no es posible dotar de la longitud de anclaje requerida (por no ser accesible, por paso de instalaciones, etc.) será necesario disponer dispositivos específicos de anclaje. Sabiendo que los compuestos MasterBrace no admiten anclajes mecánicos pasantes, estos dispositivos (generalmente metálicos) trabajaran sobre la fibra por adhesión y/o presión. La fibra descargará adhiriendo sobre una pletina metálica de ancho el del compuesto y longitud variable, y ésta anclará mediante pernos y conectores taladrados al soporte.

Es posible reducir la longitud de anclaje del dispositivo (habitualmente no superior a 30 cm) mediante un aprisionando de la fibra adicional al pegado entre dos chapas pretensadas por atornillado. Es decir, la fibra se aprisiona entre dos chapas adheridas y atornilladas entre sí, y ambas anclan al soporte mediante anclaje por perno o conector.

Se requiere una calidad mínima del soporte a reforzar, sea hormigón, madera o mampostería. De no ser así el rendimiento del refuerzo es menor, y se desaprovechan las propiedades resistentes de los compuestos MasterBrace. Para los productos adheridos, el soporte debe tener un valor de resistencia a tracción mínima de entre 1 y 1,5N/mm² (según producto). Se recomienda realizar ensayos de tracción mediante un dinamómetro o similar para determinar la calidad del soporte.



Los ensayos experimentales permiten determinar la efectividad del refuerzo según multitud de parámetros. Asimismo se supone en todos los casos: perfecta adherencia.



Un mal tratamiento del soporte y la oclusión de burbujas de aire, provocan mala adherencia. Una mala adherencia provoca el fallo del refuerzo.



Es requisito indispensable en los refuerzos adheridos un buen tratamiento del soporte.



La perfecta adherencia se caracteriza por una rotura mediante arrancamiento del soporte.



La limpieza del MasterBrace LAM con acetona y algodón es recomendable para una perfecta adherencia.

3 REPARACIÓN ESTRUCTURAL PREVIA

3.1 ¿Qué importancia tiene la reparación previa?

Teniendo en cuenta la elevada resistencia de los compuestos MasterBrace, y el objetivo que se persigue con los mismos (colaborar plenamente con el armado interno), se concluye que la importancia de la calidad del soporte es primordial.

La mayoría de actuaciones de reparación vienen motivadas por una patología de oxidación del acero interno, con una posterior expansión y pérdida de recubrimiento.

En unas condiciones de oxidación iniciada, dónde el acero genera expansión provocando esfuerzos internos, empujando el recubrimiento, el soporte se encontrará muy debilitado. En estas condiciones el soporte es incapaz de soportar los esfuerzos tangenciales necesarios para que MasterBrace entre en carga. De este modo la eficiencia del refuerzo sería nula, o demasiado baja. Por lo tanto, por motivos mecánicos y de durabilidad, es preciso antes de afrontar ningún trabajo de refuerzo, solucionar las patologías de degradación reparando correctamente el elemento.

Los trabajos de reparación se realizarán de acuerdo a las indicaciones del pliego de condiciones REP-1 REPARACIÓN ESTRUCTURAL DEL HORMIGÓN y las fichas técnicas de los productos empleados. Merece la pena destacar:

- Cuidar especialmente que la aplicación del mortero de reparación se realiza sobre el puente de unión mientras éste se mantiene en estado fresco.
- La utilización de productos bicomponentes requiere el mezclado completo de sus dos componentes, que se presentan envasados en cantidades prepesadas.
- La utilización de morteros hidráulicos requiere la estricta comprobación de las cantidades de agua de amasado precisas.



Repicado mecánico del soporte con patologías de oxidación, previo a la reparación estructural con morteros y al refuerzo con materiales compuestos.



Reparación estructural con MasterEmaco S 5400 y puente de unión epoxi MasterEmaco P 2000 BP

Reparar la estructura con morteros hidráulico-poliméricos (MasterEmaco, etc.) requiere esperar el tiempo suficiente hasta reducir la humedad del soporte a los límites aceptables por las resinas MasterBrace. De otro modo, la humedad incorporada en el agua de amasado reduce la adherencia de las resinas. Asimismo, de existir limitaciones de tiempo, se puede reparar la estructura mediante morteros sintéticos (MasterEmaco S 2600).

Los refuerzos adheridos precisan de soportes con la planeidad adecuada, para entrar en carga de forma correcta. En soportes irregulares será preciso regularizar la superficie mediante repicado y posterior restitución a base de morteros estructurales.

3.2 ¿Previamente hay que inyectar las fisuras existentes?

La existencia de fisuras en un elemento de hormigón armado compromete la durabilidad del elemento, al ser una vía de entrada de los agentes agresivos: agua, oxígeno, cloruros, sulfatos, etc. La existencia de fisuración en hormigón densamente armado puede implicar el agotamiento y plastificación del acero interno. La oxidación del armado será particularmente grave en un tendón pretensado al soportar mayores tensiones y al fallo frágil de rotura en corrosión bajo tensión. Una vez detectado el origen de la fisuración (impacto, sobrecarga, falta de armado) así como la naturaleza de ésta, se procederá a su inyección y/o sellado, y al posterior refuerzo estructural.

Los trabajos de inyección se realizarán de acuerdo a las indicaciones del pliego de condiciones REP-4 INYECCIÓN DE FISURAS y las fichas técnicas de los productos empleados. Merece la pena destacar:

- Es indispensable la inyección en fisuras estabilizadas. En caso de ser aplicada en fisuras con movimiento, el resultado será la aparición de fisuras adyacentes en el momento en que se produzca de nuevo el movimiento.
- Se recomienda el empleo de productos en base epoxídica para el sellado de fisuras previas a la inyección con MasterInject 1360, evitándose así aportes de agua procedentes tanto del agua de amasado de productos cementosos como de la humectación previa del soporte que requieren.
- Resulta imprescindible respetar los tiempos de endurecimiento del material inyectado, en función del tipo de aplicación realizada y otros factores como la temperatura de aplicación y puesta en carga de la estructura.
- Se prestará especial atención al estado de la bomba y las mangueras y conductos de inyección, así como de bridas, uniones, inyectoros y sistemas de cierre, frente al riesgo de pérdidas de material.



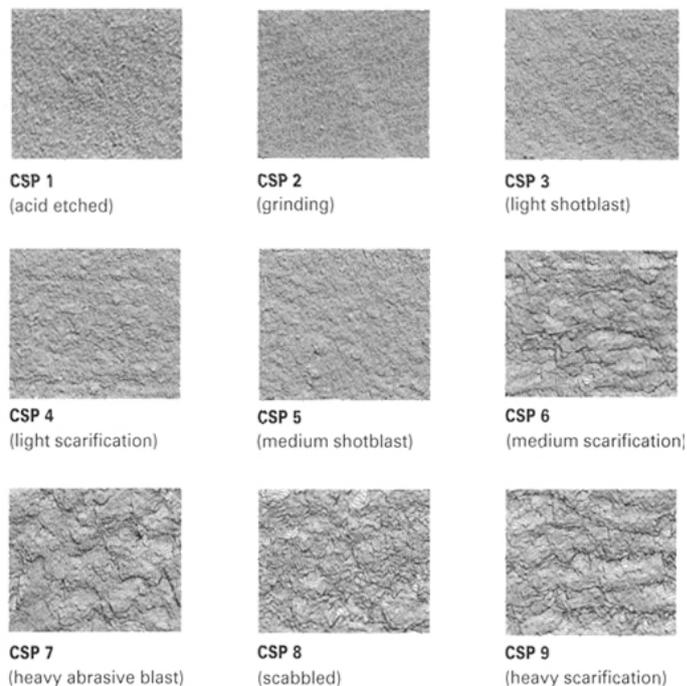
Inyección y refuerzo externo con MasterBrace LAM. El refuerzo controla la nueva aparición de fisuras debido a las cargas

4 PREPARACIÓN DEL SOPORTE

En general, es imprescindible que la superficie de contacto sea de un hormigón sano y que todo elemento extraño, que pueda afectar o perjudicar la adherencia, sea eliminado. Todo hormigón dañado o fracturado debe ser eliminado hasta lograr una superficie saneada y cualquier resto de otras sustancias o productos ajenos al propio hormigón deben ser convenientemente retirados de la superficie de trabajo.

Las superficies de hormigón a reforzar deberán estar en perfectas condiciones en el momento de ejecutar los trabajos de refuerzo. Para ello se recomienda el empleo de patrones de textura recomendados (CSP 4 a CSP 6) por el *International Concrete Repair Institute* (ICRI). Los trabajos de preparación del soporte se realizarán de acuerdo a las indicaciones del pliego de condiciones PSH-1 PREPARACIÓN DE SUPERFICIES DE HORMIGÓN.

El soporte debe de estar limpio, seco, firme, rugoso, sin lechadas y libre de aceites y contaminantes.



Patrones de textura empleados en el tratamiento del soporte.

La humedad residual del soporte será inferior al 4%. En caso de existir dudas sobre este valor, se realizarán determinaciones del contenido de humedad mediante aparato tipo CM-GERÄT o similar.

Se comprobará que el soporte posee una resistencia mínima a tracción de 1,5 N/mm² para el caso de refuerzo con MasterBrace LAM y 1,0 N/mm² para el caso de refuerzo con MasterBrace FIB. Se realizará al menos una determinación de la resistencia a tracción del hormigón por cada 200 metros (lineales o cuadrados) de refuerzo a aplicar.

4.1 ¿Qué tratamiento del soporte se recomienda?

La elección del método apropiado depende de la situación, especialmente de la extensión, del acceso en obra (trabajo en altura o no) y del tipo de elemento a reforzar.

El método ideal de tratamiento de soporte, pensando en la posterior adhesión de material compuesto MasterBrace (en cualquier formato) será aquél que:

- Elimine la lechada y cualquier resto de pintura.
- Deje el soporte lo más regular posible. De no ser así se requerirán trabajos previos generalizados de regularización.

No se recomiendan métodos manuales por golpeteo o repicado, tales como el abujardado, al provocar microfracturación del recubrimiento de hormigón y debilitar esta sección.

Los métodos recomendados para ello son:

- Chorro de arena:

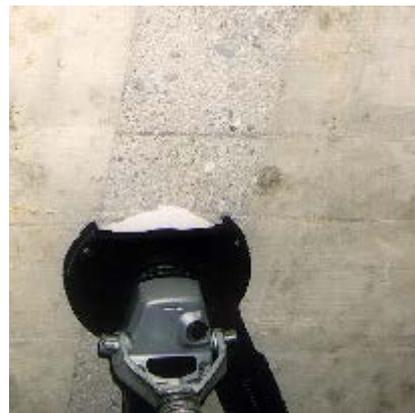
Consiste en un chorro de partículas de arena que son propulsadas por aire comprimido sobre la superficie del hormigón. Este es un método relativamente suave que se usa muy a menudo en la práctica; sin embargo, no es un método económico para eliminar capas de cierto espesor ni áreas pequeñas. Es un método especialmente indicado para dar rugosidad a las superficies, para eliminar contaminantes, capas de mortero de cemento y partículas sueltas.

Una desventaja del método es la relativamente alta cantidad de polvo que produce, interfiriendo en el uso de la estructura. Un método más respetuoso con la protección medioambiental es la proyección de arena con recuperación de la misma, en el que la cabeza sopladora, con un cepillo obturador alrededor de la tobera de salida del aire, se sitúa junto a la superficie a tratar; así, el material proyectado no escapa y resulta aspirado. Para evitar la producción de polvo se puede mezclar una cierta cantidad de agua con la arena (decapado húmedo). El decapado con arena no es apropiado para eliminar capas de más de 5 mm de espesor.

- Lijadora de diamante para hormigón:

Consiste en un tratamiento abrasivo en superficie, mediante la rotación de un disco de diamante. El equipo es manual, ligero y de pequeñas dimensiones, facilitando el acceso en zonas en altura y con instalaciones existentes. Asimismo estos equipos incorporan sistemas de aspiración acoplables y con conexión simultánea, minimizando la formación de polvo. Este aspecto, a diferencia del chorreo con arena, puede ser decisivo según el entorno de trabajo y el uso (maquinaria en funcionamiento, etc). Se consigue un soporte abierto (llegando a partir el árido), muy regular y de rugosidad baja, sin microfaturación por impacto. La eliminación de la lechada es completa en estas condiciones.

Fotografía: Lijadora de diamante para hormigón (tipo BOSCH GBR-14 CA o similar). Incluye sistema de aspiración integrado (GAS 14-20 RFB o similar)



- Agua a alta presión:

Chorro de agua (10 a 35 MPa) - Limpieza

- Elimina las partículas sueltas, hormigón con escamas y capas de vegetación.
- No es aplicable para desbastar superficies de hormigón compacto.
- No se produce polvo aunque la recogida de partículas sólidas o disueltas en el agua debe hacerse en un depósito de sedimentación.

Chorro de agua de alta presión (35 a 300 MPa) – Limpieza exhaustiva

- Método eficaz en zonas blandas de la superficie del hormigón (nidos de grava, fisuras y estratos sueltos) aunque con esta presión es imposible obtener un desbastado uniforme de la superficie del hormigón sin causar coqueas.



Los métodos de tratamiento de soporte mediante agua a media y alta presión (hasta 200 MPa) son válidos siempre y cuando el soporte esté seco en el momento de la aplicación del refuerzo

4.2 ¿Qué regularidad requiere un refuerzo a flexión para ser eficiente?

Según el tipo de material compuesto a emplear: FIB o LAM, los requisitos ("Externally bonded FRP reinforcement for RC structures" CEB-FIP página 98) de planeidad serán distintos:

	Regla de 2.0 metros	Regla de 0.3 metros
MasterBrace LAM	10 mm	4
MasterBrace FIB	4 mm	2

Es decir, un compuesto ejecutado in situ, mediante aportación de resinas, requerirá un soporte más plano. En caso contrario, la fibra, obligada a seguir las ondulaciones del soporte no responderá según lo previsto.



Rotura prematura originada por esfuerzos localizados en una arista saliente al entrar en carga el compuesto.



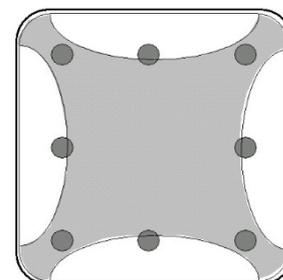
Pérdida de eficiencia del refuerzo debido al empuje al vacío al entrar en carga el compuesto.

Para la regularización del soporte son válidas las exigencias habituales de reparación estructural. Se recomienda, para evitar humedad en el soporte, la regularización mediante morteros completamente sintéticos (MasterEmaco S 2600), o mediante morteros cementosos en caso de que se pueda esperar a que el soporte este seco.

4.3 ¿Cuánto hay que regularizar las aristas externas?

Cualquier arista externa se redondeará con un radio mínimo de 25 mm, para evitar esfuerzos localizados que puedan romper de forma prematura la fibra. Será aplicable en:

- zunchado perimetral de pilares prismáticos.
- envoltura en refuerzos a cortante.



En color oscuro el área de hormigón reforzada



Ejemplo de refuerzo de pilares con aristas redondeadas mediante hoja MasterBrace FIB

Para el remate de las aristas se propone:

- Eliminar mecánicamente por achaflanado, y lijado hasta obtener un perfil semicircular.
- Recreer la nueva sección encofrando (con la ayuda de un angular de tubo plástico) con mortero de reparación estructural.

4.4 Aplicación de MasterBrace LAM.

La aplicación de MasterBrace LAM sólo precisará de su adhesión sobre el soporte existente.

El bajo peso de los compuestos LAM hace innecesaria la utilización de apuntalado; la adecuada consistencia del adhesivo (formulación compatible con las temperaturas existentes) es suficiente. Es necesaria una presión uniforme con objeto de permitir el rebose del adhesivo sobrante.

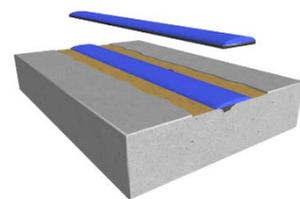
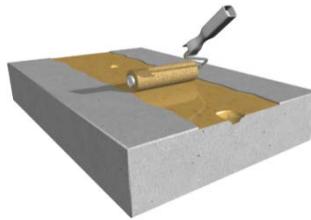
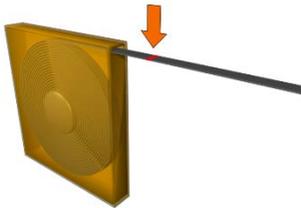
Sobre el soporte perfectamente preparado, saneado y libre de polvo se aplicará la imprimación **MasterBrace P 3500**, dónde habrá que tener en cuenta:

- Comprobación de la temperatura (superior a +5°C) y la humedad del soporte (inferior al 4%).
- Mezclado: se establecerá un tiempo mínimo de 3 minutos. Se realizará siempre con medios mecánicos.
- Utilización de útiles recomendados para el material.
- Se realizará el control de la cantidad de material aplicado. En ningún caso será inferior a 300 g/m² en superficies de hormigón y 180 g/m² en superficies metálicas.
- No se aceptará la realización de mezclas parciales.
- Caso de sobrepasarse los tiempos máximos de aplicación de los productos, se procederá a la aplicación de una nueva capa de material.

Transcurridos 90 minutos de la aplicación de la imprimación se procederá a la aplicación del adhesivo **MasterBrace ADH 4000**, mediante un dispensador o de forma manual.

- Comprobación de la temperatura (superior a +5°C) y la humedad del soporte (inferior al 4%)
- Establecimiento del tiempo mínimo de espera de 90 minutos desde la aplicación de MasterBrace RESIN 50 y del máximo de 48 horas.
- Comprobación de la limpieza con disolvente libre de grasas de MasterBrace LAM (en la cara que no está marcada)
- Comprobación de cantidad de material aplicado sobre el LAM (siempre inferior a 2 mm)
- Comprobación de la cantidad de material aplicado sobre el soporte (1-2 mm)

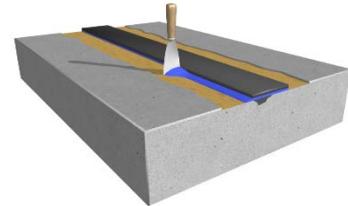
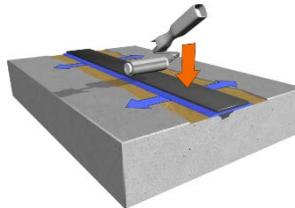
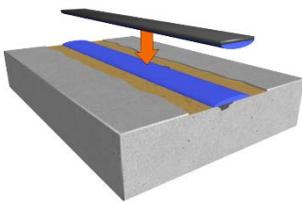
- Comprobación del rebose del material por todo el perímetro del LAM.
- Comprobación de la utilización de los útiles ecomendados.
- No se aceptará la realización de mezclas parciales.
- Caso de sobrepasarse los tiempos máximos de los productos, se procederá a la aplicación de una nueva capa de material.



1. Medir y cortar las tiras de laminado a utilizar de acuerdo con los planes de trabajo que se hayan realizado. Estos trozos se cortarán con sierra o radial.

2. Aplicar MasterBrace P 3500 mediante rodillo sobre el soporte preparado.

3. Aplicar MasterBrace P 3500 mediante rodillo.



4. Posicionar y colocar MasterBrace LAM manualmente sobre el soporte.

5. Ejercer una presión constante con rodillo liso para que el adhesivo sobrante salga por los laterales.

6. Retirar el adhesivo sobrante con una espátula.



Aplicación de la imprimación epoxi mediante rodillo sobre soporte tratado y aspirado (chorreo o similar)



Dispensador de adhesivo a modo de guillotina, con altura libre para paso del espesor de LAM y espesor de adhesivo (inferior a 3 mm).



Presión y eliminación de adhesivo sobrante.



Adhesión al paramento de MasterBrace LAM con adhesivo. El soporte se encuentra previamente imprimado y con una capa de Adhesivo.



Vista del refuerzo colocado.

El dispensador de adhesivo facilita la colocación del adhesivo encima de la cara del laminado en el espesor y forma deseada. El dispensador consta de una chapa metálica de acero inoxidable en forma de U, de unos 30 cm de longitud y una chapa vertical, a modo de guillotina, con una holgura de espesor del LAM más 2-3 mm de resina. Cada ancho de LAM requiere un dispositivo. Con la resina en estado fresco la limpieza se realiza por inmersión en disolvente.

El perfil de la chapa de la guillotina será cóncavo, dejando más adhesivo en el centro que en los perfiles. De este modo al presionar el LAM contra el soporte el rebose es óptimo sin oclusión de aire.

4.5 Aplicación de MasterBrace FIB.

En los trabajos de puesta en obra de FIB, a base de carbono se requerirán más operaciones que en requerir la laminación in situ, mediante la impregnación con MasterBrace SAT 4500 sobre soporte imprimado con MasterBrace P 3500.

La FIB, de distintos gramaje, debe quedar embebida entre dos manos de resina saturante MasterBrace SAT 4500, y al mismo tiempo adherida sobre un soporte imprimado con una resina fluida de anclaje MasterBrace P 3500. Todos los productos se aplican a rodillo, si obviamos el empleo de maquinaria de impregnación (reservado para elevados rendimientos y gramajes de fibra a partir de 800 g/m²).

Todos los productos son aplicables a rodillo a excepción de elevados gramajes (por encima de 800 g/m²), dónde es imposible sin presión impregnar la totalidad de las fibras. Para Hojas de fibra de cualquier naturaleza, y gramajes inferiores, la impregnación automatizada supone incrementar rendimientos.

La aplicación se realizará de acuerdo a las fichas técnicas de los productos que intervienen, de dónde merece destacar:

MasterBrace P 3500:

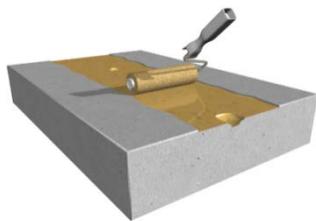
- Comprobación de la temperatura (superior a +5°C) y la humedad del soporte (inferior al 4%).
- Mezclado: se establecerá un tiempo mínimo de 3 minutos. Se realizará siempre con medios mecánicos.
- Utilización de útiles recomendados para el material.
- Se realizará el control de la cantidad de material aplicado. En ningún caso será inferior a 300 g/m² en superficies de hormigón y 180 g/m² en superficies metálicas.
- No se aceptará la realización de mezclas parciales.
- Caso de sobrepasarse los tiempos máximos de los productos, se procederá a la aplicación de una nueva capa de material.

MasterBrace SAT 4500:

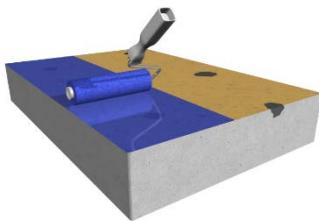
- Utilización de los útiles recomendados (llana, rastrillo de goma, rodillo...).
- Comprobación de la aplicación de MasterBrace SAT 4500 (entre 0,5 y 48 horas después de MasterBrace P 3500).
- Comprobación de la aplicación de la segunda capa de MasterBrace SAT 4500 (entre 0,5 y 48 horas desde la aplicación de la primera capa).
- Comprobación de la visibilidad de las fibras negras de la FIB.
- Comprobación de la cantidad de material aplicado. En ningún caso será inferior a 650 gr/m².
- No se aceptará la realización de mezclas parciales.
- Caso de sobrepasarse los tiempos máximos de los productos, se procederá a la aplicación de una nueva capa de material.

MasterBrace FIB:

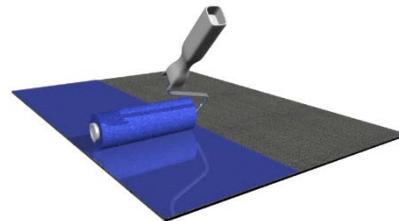
- Se comprobará la colocación de la fibra estando aún fresco MasterBrace P 3500.
- Se comprobarán las longitudes de solapes (mínimo 10 cm).
- Se comprobará la longitud del soporte de papel de la parte posterior de la FIB retirado.
- Para aquellas aplicaciones que requieran un acabado con mortero o enlucido de yeso, mientras la última mano esté fresca, se procederá al espolvoreo de arena de sílice. La aplicación de los revocos o enlucidos será la habitual como si de un soporte mineral se tratara.



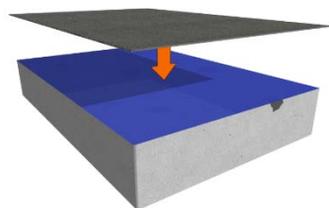
1. Aplicar MasterBrace P 3500 mediante rodillo sobre el soporte preparado.



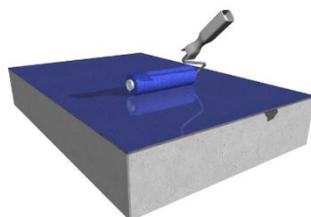
2. Aplicar una capa de MasterBrace SAT 4500 mediante rodillo sobre el soporte imprimado.



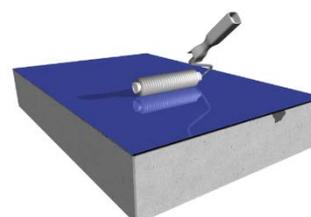
3. Aplicar una capa de MasterBrace SAT 4500 mediante rodillo sobre el MasterBrace FIB.



3. Colocar MasterBrace FIB sobre el soporte impregnado con MasterBrace SAT 4500.



5. Aplicar una segunda capa de MasterBrace SAT 4500 mediante rodillo de pelo corto para impregnar la hoja MasterBrace FIB.



6. Aplicar un rodillo estriado para que el exceso de saturante salga a través de las fibras de la hoja.



Soporte tratado e imprimado con MasterBrace P 3500



Aplicación de MasterBrace FIB embebido en capa de adhesivo saturante MasterBrace SAT 4500



Zunchado superior de pilas con tejido de hoja MasterBrace FIB



Acabado final anticarbonatación MasterProtect 325 EL

4.6 Aplicación de MasterBrace NET.

De igual modo que en el caso de Masterbrace FIB, en los trabajos de puesta en obra de MasterBrace NET, se requiere la laminación in situ, si bien en este caso la malla podrá ir adherida mediante la impregnación con MasterBrace SAT 4500 o bien mediante la extensión de una capa de mortero MasterEmaco.

MasterBrace SAT 4500:

Después de haber aplicado una primera mano de adhesivo saturante, se extenderá la malla teniendo cuidado de pre-sionarla por dos o tres veces en las dos direcciones de la fibra, utilizando un rodillo estriado para impregnar la malla y eliminar el aire ocluido de la resina. Los solapes con malla sucesiva serán de al menos 20cm. En la zona de solape, será necesario aplicar una mano extra de resina MasterBrace SAT 4500 para reforzar la zona donde se colocará el tramo superpuesto de malla. La segunda mano de MasterBrace SAT 4500 se aplicará sobre la malla.

Si fuese necesario aplicar una segunda malla, será necesario la aplicación de una mano extra de adhesivo siguiendo las indicaciones anteriores.

El tiempo estimado de endurecimiento a 20°C es de 24 horas, pasado este tiempo entendemos que el refuerzo comienza a entrar en carga.

El refuerzo puede protegerse mediante revestimientos de pintura de la gama MasterProtect. La aplicación del revestimiento se realizará cuando el adhesivo MasterBrace SAT 4500 esté endurecido.

Mortero cementoso o mortero en base cal (MasterEmaco)

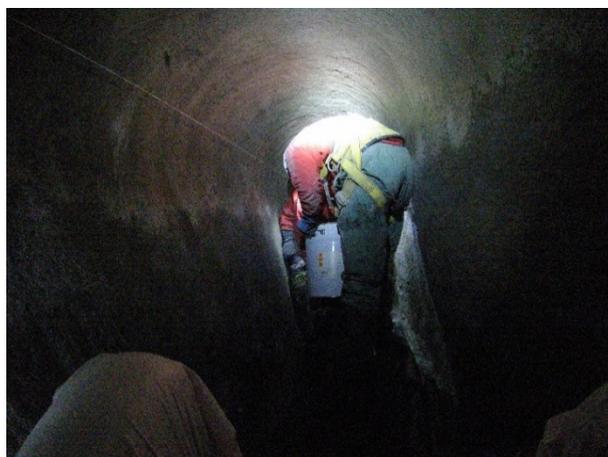
Después de haber aplicado una primera capa del espesor mínimo de mortero (consultar para cada tipo de mortero), se extenderá la malla, teniendo precaución de presionarla sobre el mortero extendido.

Los solapes de mallas superpuestas serán de un mínimo de 20cm. En las zonas de solape será necesario aplicar de forma previa a la colocación de la segunda malla, una mano extra de mortero.

Una vez asegurada la fijación de la malla y su planeidad, se aplicará una segunda mano final de mortero.



Aplicación MasterBrace NET como refuerzo en una galería de servicios.



Acabo final con una segunda capa de mortero tras la aplicación MasterBrace NET

Si fuese necesario aplicar una segunda malla, será necesaria la aplicación de una mano extra de mortero siguiendo las indicaciones anteriores.

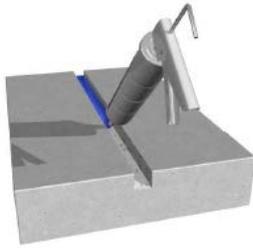
En caso de requerirse por fines estéticos, se podrán aplicar pinturas de la gama MasterProtect como acabado final.

Nota: se recomienda realizar anclajes mecánicos para ayudar a que la malla no se mueva durante la aplicación de las sucesivas capas. Serán necesarios más o menos anclajes en función de que la aplicación sea en techos o paredes, y dependiendo también de la regularización del soporte.

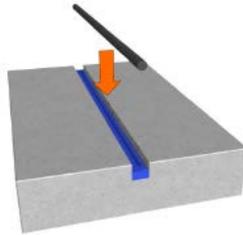
4.7 Aplicación de MasterBrace BAR.

La aplicación de las barras pultrusas de fibra de carbono se realiza de igual forma que las barras corrugadas de acero para refuerzo estructural de elementos de hormigón y mampostería. Su utilización puede estar motivada por los siguientes por las siguientes razones:

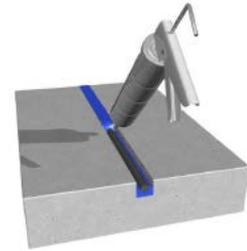
- Errores de proyecto o ejecución.
- Mejoras estructurales o modificaciones debidas a cambios de usos o cambios de exigencia en normativas.
- Mejora del control de la fisuración y de la resistencia a impactos y ondas expansivas.
- Refuerzo de muros, arcos y bóvedas de mampostería.



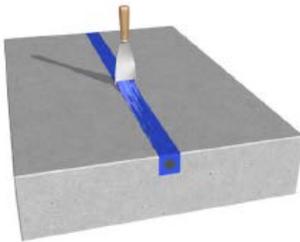
1. Aplicar MasterBrace ADH 4000, o resina epoxi fluida MasterInject 1360, en una roza de dimensiones 10mm + diámetro barra + 10mm.



2. Colocar la barra MasterBrace BAR.



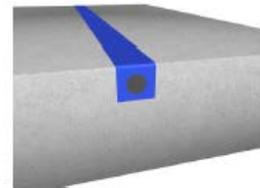
3. Aplicar una segunda capa de MasterBrace ADH 4000.



3. Aplicar una espátula para eliminar el adhesivo sobrante.



5. Esquema del refuerzo con barra.



6. Vista frontal del refuerzo con barra.



Inserción de la barra MasterBrace BAR en una roza ejecutada previamente en el elemento de hormigón a reforzar

5 CONTROL DE CALIDAD

Para el establecimiento de planes de control de calidad que aseguren la ejecución de los trabajos según lo especificado puede tomarse como referencia el Pliego de condiciones CC-1: RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE PLANES DE CONTROL DE CALIDAD EN EJECUCIÓN DE REFUERZOS CON FIBRA DE CARBONO.

DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA

Para ampliar la información de pueden consultarse los siguientes documentos:

- **Servicio Técnico.** Fichas técnicas de los productos citados.
- **Servicio Técnico.** *“Pliego de condiciones PSH-1 Preparación de superficies de hormigón.”*
- **Servicio Técnico.** *“Pliego de condiciones REP-1 Reparación estructural de hormigón armado.”*
- **Servicio Técnico.** *“Pliego de condiciones REP-4 Inyección de fisuras.”*
- **Servicio Técnico.** *“Pliego de condiciones CC-1 Recomendaciones para el diseño de planes de control de calidad en ejecución de refuerzos con fibra de carbono.”*
- **The Concrete Society. Technical Report no. 57** *“Strengthening concrete structures using fibre composite materials: acceptance, inspection and monitoring”*. 2003.
- **American Concrete Institute. ACI 440.2R** *“Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures”*. 2002.
- **CEB-FIP.** *“Externally Bonded FRP reinforcement for RC structures”*. 2001.