

CAPÍTULO 3

3 – APLICACIONES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS:

3.1 - APLICACIONES GENERALES.

3.2 - APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN.

3.2.1 - FACHADAS.

3.2.2 - CUBIERTAS.

3.2.3 - INTERIORES.

3.2.4 - ESTRUCTURALES.

3.2.5 - ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.

3.2.6 - OTRAS APLICACIONES.

3.1 - APLICACIONES GENERALES.

El uso de los materiales compuestos está muy extendido en diversas áreas de desarrollo, siendo la industria aeronáutica y la automovilística donde mayores aplicaciones tienen, (ver gráfico 3.1).

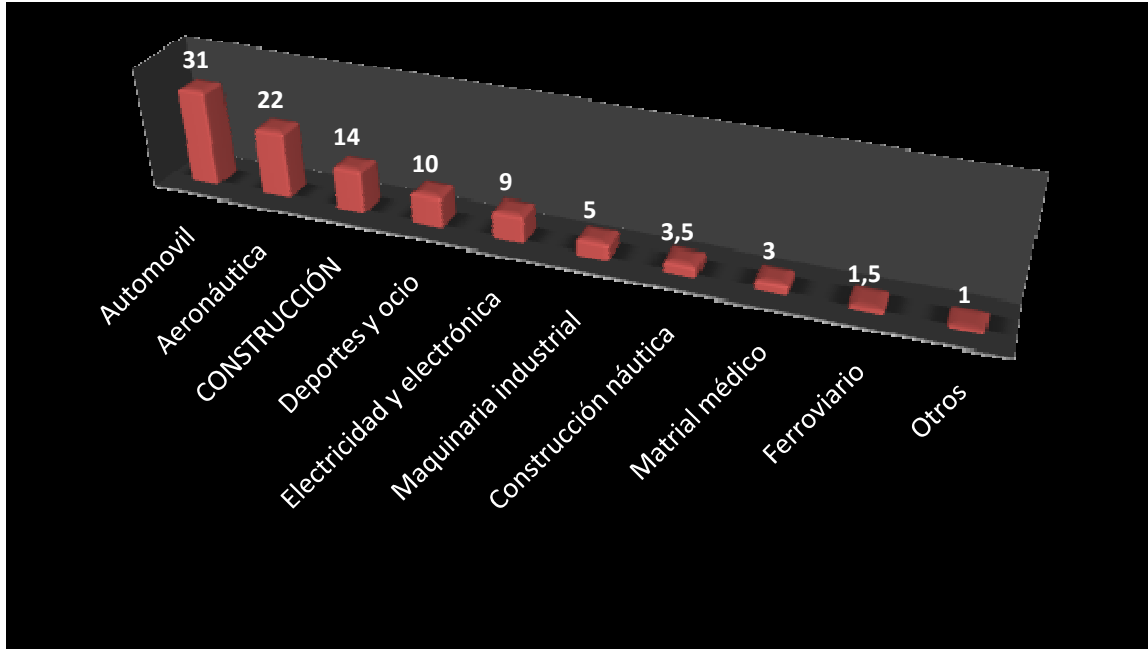


Gráfico 3.1. Estudio de Materiales Compuestos y su distribución sectorial según su aplicación.

Revista: "*Estudio de Materiales Compuestos*". Nodal Consultants, 2002.

El empleo de materiales compuestos a partir de las primeras aplicaciones desarrolladas, ha tenido un crecimiento importante en el tiempo, registrándose en promedio un incremento anual del orden de un 5%. Según datos aportados por Roca (2005), a nivel europeo, el consumo de materiales compuestos en el año 2000 alcanzó las 2 millones de toneladas, siendo Alemania el mayor consumidor de estos materiales con un 28%, mientras que España registra un consumo anual de un 8%. Estos datos se presentan en detalle en el gráfico 3.2.

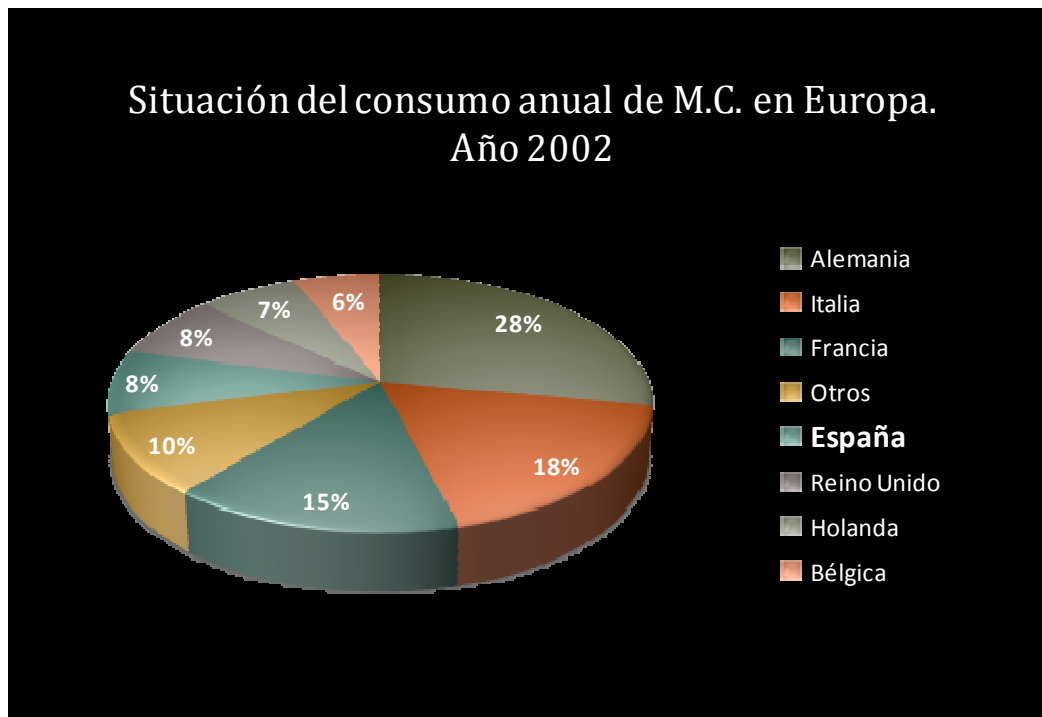


Gráfico 3.2 Situación del consumo anual de materiales en Europa.
Revista: “*Estudio de Materiales Compuestos*”. Nodal Consultants, 2002.

A continuación se enumeran algunos de los sectores principales en la aplicación de materiales compuestos:

- *Electrónica*: La mayoría de equipos eléctricos y electrónicos que se utilizan actualmente.
- *Construcción*: La facilidad de montaje y durabilidad hace que los materiales compuestos, encuentren cada vez más aplicaciones.
- *Medicina*: Los profesionales de este campo dependen de los MC, como pueden ser ejemplos; bolsas intravenosas, implantes de silicona, etc.
- *Transporte*: Para los automóviles y camiones de hoy, los materiales compuestos ofrecen una amplia variedad de beneficios como; durabilidad, resistencia a la corrosión, ligereza, cristales de seguridad y depósitos de combustible entre otros.
- *Aeronáutica*: En los últimos años, la aeronáutica ha evolucionado concediendo a los materiales compuestos un papel muy importante dentro de este campo. La ligereza de los MC permite proteger el combustible ante diferencias de presión ambiental.
- *Otros mercados*: Los materiales compuestos forman parte de una gran variedad de mercados gracias a la diversidad de propiedades que pueden aportar, como en plataformas para trabajos en altura, líneas de alto voltaje, tanques de combustible de fibra de vidrio altamente resistente a la corrosión, etc.

Estos sectores son algunos de los más importantes donde los materiales compuestos son empleados, existiendo muchos otros que no se han presentado debido a que el consumo de estos materiales es bastante menor.

En el área de la construcción, a pesar de estar ubicado en el tercer puesto de las industrias que más consumen materiales compuestos, representa aún un pequeño porcentaje en comparación a la industria aeronáutica y automovilística.

Este bajo porcentaje de aplicación en la construcción es debido principalmente a dos factores: es un área altamente conservadora y el empleo de materiales tradicionales, como el hormigón y el acero, que se encuentran ampliamente utilizados y contrastados ejercen una competencia muy fuerte en el sector. A pesar de ello, son diversas las aplicaciones en las que los materiales compuestos han tenido un fuerte desarrollo, como son: paneles de decoración; rehabilitación de edificios y obras de fábrica; vigas y piezas estructurales; cubiertas y tejados; paneles de muros cortina y fachadas; etc.

El empleo de materiales compuestos dentro de la ingeniería, se ha focalizado fundamentalmente en temas de refuerzo de estructuras y construcción de elementos estructurales, mientras que en aplicaciones geotécnicas donde también se han desarrollado ciertas aplicaciones, se ha orientado en elementos de refuerzo de suelos y sistemas de cimentación. Estos materiales son ideales para su uso en el mercado de la construcción e ingeniería por la estabilidad dimensional, alta durabilidad, ligereza, resistencia al impacto y baja inflamabilidad que poseen. Además, permiten mediante una adecuada elección de resinas y aditivos, una alta flexibilidad en el diseño.

Dentro de los M.C., los más utilizados son los formados por refuerzos de fibra de vidrio (GFRC) y por fibra de carbono (CFRC). Los materiales compuestos reforzados con fibras de carbono suelen ser utilizados en las industrias aeroespacial y aeronáutica, mientras que los reforzados con fibras de vidrio presentan usos más generales, y su principal aplicación se encuentra en el ámbito de la construcción.

3.2- APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN.

Introducción:

En la industria de la construcción, los materiales conocidos como tradicionales ejercen una competencia muy fuerte en el sector (hormigones, metales, cerámicas, etc.). Sus prestaciones son muy bien conocidas por todas las figuras que aparecen durante el proceso de la construcción: proyectistas, contratistas, operarios e incluso los propios clientes. En el mercado español este problema se incrementa, ya que el uso de materiales compuestos es mucho menor respecto a lo que se observa en otros países del mundo. La construcción sólo representa un pequeño porcentaje del mercado de materiales compuestos frente al resto de sectores.

Con el fin de que los proyectistas aumenten el grado de utilización de los materiales compuestos, es necesaria una mayor caracterización de los mismos. Ello permitirá a los diseñadores desarrollar un análisis funcional que integre todas sus aportaciones. Estos materiales padecen de una falta de modelización y normalización frente a otros tradicionales como el acero, que son objeto de normas nacionales o europeas.

Comparando con otros sectores productivos, en el sector de la construcción la expansión de los materiales compuestos no ha sido tan generalizada ni tan rápida como se esperaba. Se trata de un sector cuyo conservadurismo se ha visto reflejado numerosas veces cuando se han tratado de implantar importantes cambios. De todos modos, con el tiempo los materiales compuestos están siendo introducidos, y actualmente son considerados como un tipo de material a tener en cuenta en un futuro muy cercano. De hecho la aparición de nuevas construcciones que han usado algún tipo de estos materiales, es siempre una señal de que la industria va siendo aceptada poco a poco por el sector.

Las aplicaciones de materiales compuestos en la construcción varían desde piezas para baños, bañeras y claraboyas, hasta paneles decorativos, paneles para muros cortina y materiales de fachadas, cubiertas, entre otros. Estos materiales son ideales para su uso en el mercado por la estabilidad dimensional que ofrecen; alta durabilidad, ligereza, resistencia al impacto y baja inflamabilidad, por nombrar algunos. Además, mediante una adecuada elección de resinas y aditivos, se consigue una alta flexibilidad en el diseño.

Desde las paredes externas y el tejado hasta las paredes internas, existen bastantes aplicaciones para los refuerzos de fibras, tanto visibles como incorporadas a un molde plástico o de cemento, para cualquier tipo de construcción individual o residencia colectiva, edificios educacionales, industriales o agrícolas, oficinas, complejos deportivos, aeropuertos, etc.

Para elementos exteriores de edificios, los materiales compuestos pueden estar presentes tanto en construcción nueva como en rehabilitación y/o restauración, dentro de numerosos elementos como; columnas, frontones, bóvedas, cornisas, así como en revestimientos y coberturas para paneles de protección y aislamiento, letreros y láminas translúcidas planas u onduladas (sistemas para fachadas decorativas, para cubiertas, etc.).

Las aplicaciones en cubiertas incluyen la impermeabilización, tejados (con paneles de refuerzo de vidrio y tejas) y acabados de tejados (para drenaje de agua con canalones, caños de escurrimiento y canales).

Al igual que para las aplicaciones exteriores, también existen gran número de aplicaciones para elementos interiores de edificios:

- Persianas (contra el sol o para decoración).
- Revestimientos estéticos para su uso en paredes, divisorias, techos, puertas y mobiliario.
- Argamasa con refuerzo de vidrio en una variedad de formas: columnas, techos, cornisas.
- Decoración y mobiliario fabricados de plástico reforzado y MC de vidrio y cemento.
- Biombos y divisorias.
- Cintas para paredes secas.
- Divisiones de materiales compuestos de cemento y vidrio.
- Paneles de MC (aislantes en ambos lados, tratados con resinas fenólicas).
- Piezas sanitarias (bañeras, bidé, duchas, piletas, vaso sanitario).
- Asentamiento del piso (pisos rígidos y flexibles).
- Ítems decorativos.

A nivel estructural, no son muchas las aplicaciones directas de los materiales compuestos, aunque su uso en ingeniería de puentes y pasarelas, además de refuerzo de estructuras, es actualmente muy frecuente en uso. Es en la construcción de puentes donde mayores avances en investigación se han alcanzado en el uso de M.C., existiendo importantes ejemplos prácticos en países como Estados Unidos y España.

Seguidamente se describen una representación de los tipos y clases de aplicaciones que hoy en día ofrecen los materiales compuestos y sistemas constructivos basados en estos nuevos materiales, con sus características principales, ventajas de utilización y aportando numerosos ejemplos visuales. El trabajo se centrará y hablará más extensamente de las aplicaciones estructurales y alternativas que hoy en día se está dando al armado tradicional, dentro del uso estructural, sin dejar de mencionar el resto de campos fundamentales como la restauración y la decoración, ya que están aportando también estas alternativas al sector de la construcción.

APLICACIONES PRINCIPALES:

3.2.1 - FACHADAS.

- 3.2.1.1 - Panel tipo sándwich, de nido de abeja o núcleo de espuma.
- 3.2.1.2 - Panel composite con núcleo termoplástico.
- 3.2.1.3 - Panel termoconformado con un termoplástico y carga de fibra de vidrio.
- 3.2.1.4 - Paneles arquitectónicos reforzados con fibra de vidrio AR. (GRC).

3.2.2 - CUBIERTAS.

- 3.2.2.1 - Placas y planchas traslúcidas para cubiertas.
- 3.2.2.2 - Sistemas y elementos de cobertura con GRC.

3.2.3 - INTERIORES:

- 3.2.3.1 - Tabiques.
- 3.2.3.2 - Pavimentos.
- 3.2.3.3 - Elementos decorativos, revestimientos, mobiliario, otros, etc.

3.2.4 - ESTRUCTURALES:

- 3.2.4.1 - Alternativas al armado para el refuerzo de nuevas estructuras.
 - A) - Barras, perfiles y otros elementos de FRP para estructuras de H.A.
 - B) - Cables y otros sistemas estructurales para H.P.
 - C) - Encofrados de FRP para estructuras de H.A.
- 3.2.4.2 - Rehabilitación, restauración y refuerzo de estructuras existentes.

3.2.5 - ELEMENTOS DECORATIVOS Y ARQUITECTÓNICOS.

- 3.2.5.1 - Aplicación para nuevos elementos decorativos y arquitectónicos.
- 3.2.5.2 - Restauración y reconstrucción de elementos arquitectónicos.

3.2.6 - OTRAS APLICACIONES;

- 3.2.6.1 - Uniones estructurales de MC, en edificios industriales.
- 3.2.6.2 - Forjados especiales de materiales compuestos.
- 3.2.6.3 - Últimas construcciones singulares.

3.2.1- FACHADAS:

Introducción:

Las innovaciones técnicas y comerciales de nuevos materiales constituyen un resurgimiento del mercado de revestimientos en las edificaciones, sobre todo a nivel industrial, comercial y de oficinas. El sector de la construcción se está convenciendo de las ventajas que supone usar nuevos materiales y sistemas, basados en materiales compuestos, entre otras, por su facilidad de manipulación, velocidad de construcción, estética, mejor aislamiento, fácil mantenimiento y gran resistencia mecánica, además de tener grandes posibilidades formales para los arquitectos.

Los materiales compuestos permiten gran flexibilidad en el diseño de paneles con texturas y colores diferentes, pudiendo tener multitud de acabados, juntas, relieves, etc. Además de poder combinarse en armonía con otros materiales como el ladrillo, aluminio, piedra, etc.

Existen varios productos en el mercado de los materiales compuestos capaces de desempeñar la función propia de una fachada convencional y que varios fabricantes ofrecen. Podemos resumirlos en estos tipos de configuraciones:

- Panel tipo sándwich, de nido de abeja o núcleo de espuma.
- Panel composite con núcleo termoplástico.
- Panel termoconformado con un termoplástico y carga de fibra de vidrio.
- Paneles arquitectónicos reforzados con fibra de vidrio AR. (GRC).

3.2.1.1 - PANEL TIPO SÁNDWICH, DE NIDO DE ABEJA O NÚCLEO DE ESPUMA.

Las estructuras tipo sándwich en los materiales compuestos se utilizan con gran frecuencia en múltiples aplicaciones. Este tipo de estructura se basa en un núcleo de baja densidad y en dos pieles, una a cada lado del núcleo, formando lo que se denomina laminado sólido, esto es el conjunto de láminas ó capas en las que las fibras embebidas en cada capa pueden tener distintas orientaciones. Ver figura 3.1.

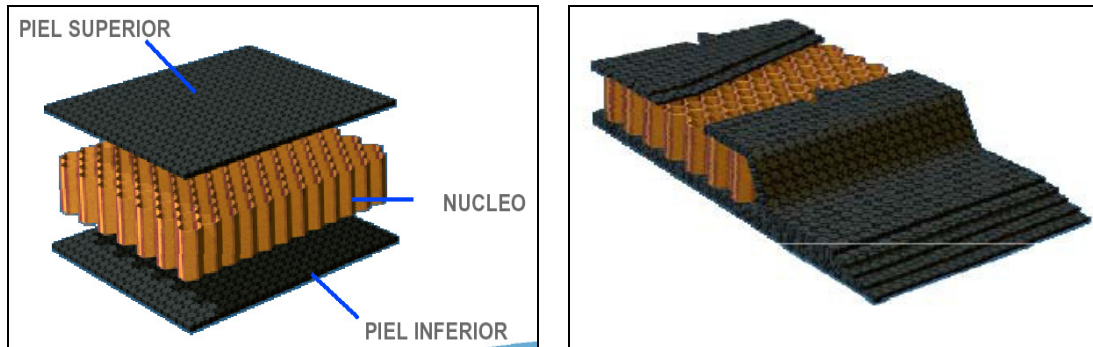


Figura 3.1 Esquema de la estructura tipo sándwich.

Las ventajas de las estructuras tipo sándwich son:

- Soportan altas cargas a tracción y a compresión en dirección normal al panel.
- Presentan excelente rigidez y resistencia específica.
- Tienen la mejor relación rigidez / peso.
- Presentan buena rigidez a torsión.
- Excelente capacidad para el aislamiento tanto térmico como acústico.

Existen dos configuraciones de núcleos:

- Núcleos de nido de abeja.
- Núcleos de espuma.

Dentro de los núcleos de nido de abeja, se pueden clasificar en función de:

- Su tipo de celdilla, hexagonal, rectangular o en seta.
- En función del material, metálicos, no metálicos.

En función del material, dentro de los núcleos metálicos, se suele emplear aluminio, acero, titanio y aleaciones de alta resistencia. Los núcleos no metálicos suelen estar fabricados en “papel” de aramida, vidrio, carbono, etc.

- APLICACIÓN DE PANELES DE COMPOSITE, IMITACIÓN A PIEDRA ARTIFICIAL.

Este tipo de aplicación consiste en un panel compuesto de un revestimiento de piedra natural delgada, unido a un panel de respaldo, que puede ser de diferentes materiales; aluminio, fibra de vidrio, cerámica u otros, dependiendo del tipo de uso, (Figura 3.2). Las dos partes están estrechamente unidas con pegamento de alta resistencia a alta temperatura y presión.

El panel compuesto resultante conserva la belleza natural del granito o del mármol, además de resultar superior en propiedades y características, como la fragilidad y la pesadez, de las piedras naturales.

Estos paneles compuestos, pueden ser producidos prácticamente en cualquier material de piedra natural como granito, mármol, piedra caliza, pizarra y arenisca. Se utilizan en una amplia gama de aplicaciones como revestimiento de paredes exteriores e interiores.



Figura 3.2 Varios detalles de la sección transversal del panel composite.

La característica más importante es que estos paneles resultan más ligeros que los paneles de piedra sólida. Reducen la carga muerta del edificio y mejora la velocidad de trabajo. Ver figura 3.3.



Figura 3.3 Colocación rápida del panel.

El panel compuesto de piedra tiene una mejor resistencia al impacto y a la flexión, debido a su panel de respaldo, pudiendo ser de panel o de polímero de aluminio, de cerámica o red de fibra de vidrio o respaldo de vidrio únicamente.

3.2.1.2 - PANEL COMPOSITE CON NUCLEO TERMOPLÁSTICO:

La aplicación de nuevos materiales define al panel composite como una nueva solución constructiva eficaz, económico, estético y sostenible para recubrimiento de fachadas de edificios que está constituida por dos láminas de metal. Estas pueden ser de aluminio, cobre o zinc, unidas por un núcleo de resinas termoplásticas, como puede ser el polietileno de baja densidad, que dota al material de planeidad y ligereza.

Los acabados se presentan en pintura o lacado, ofreciendo una gran resistencia a la corrosión y al envejecimiento.

Esta unión de materiales dota al panel composite de unas excelentes propiedades mecánicas; alta resistencia a los choques, elevada rigidez y reducido peso. Además de otras:

- Planeidad de superficie, permitiendo grandes formatos.
- Resistente a la intemperie, a la radiación solar y a los ambientes agresivos.
- Amortiguación de vibraciones y mejora del rendimiento acústico y técnico del edificio.
- Diversidad de acabados y formatos.
- Gran facilidad de manipulación con maquinaria convencional.
- Material reciclable.

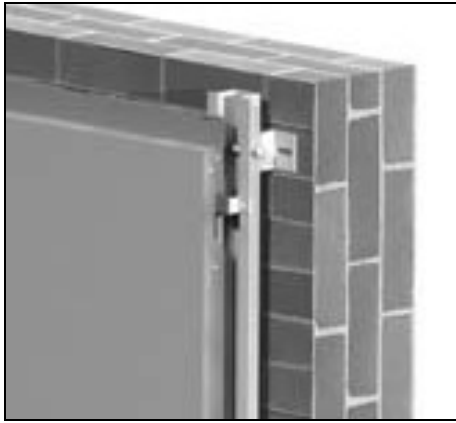
Es un producto diseñado y probado para integrarse en edificaciones de elevadas prestaciones térmicas y acústicas. Especialmente para sectores de construcción de fachadas ligeras de nueva edificación, así como de rehabilitación, permitiendo obtener fachadas ventiladas, semi ventiladas o estancas. También se puede derivar en otro tipo de aplicaciones:

- Fachadas y paramentos internos, en edificios de nueva planta, como en rehabilitación.
- Marquesinas.
- Petos de balcones.
- Paneles de señalización e imagen corporativa.
- Fabricación de stands y expositores.
- Forro de pilares y de maquinaria.

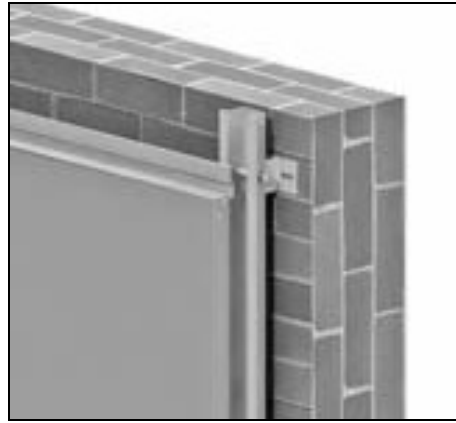


Figura 3.4

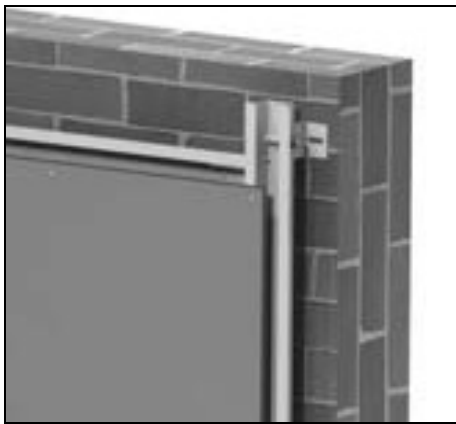
Este panel presenta varios sistemas de fijación:



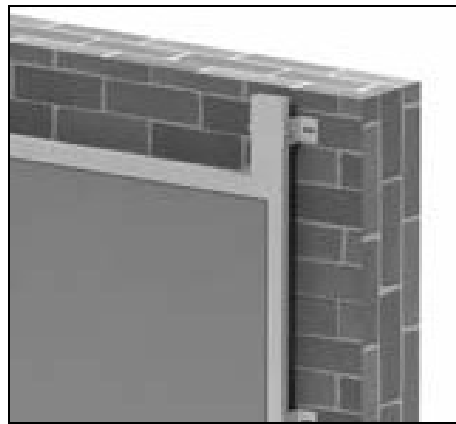
1- Sistema de cuelgue.



2- Sistema de macho-hembra.



3- Sistema remachado.



4- Sistema pegado.

Figura 3.5 Detalle de los diferentes sistemas de fijación.



Figura 3.6

Varias fotografías muestran diferentes acabados:

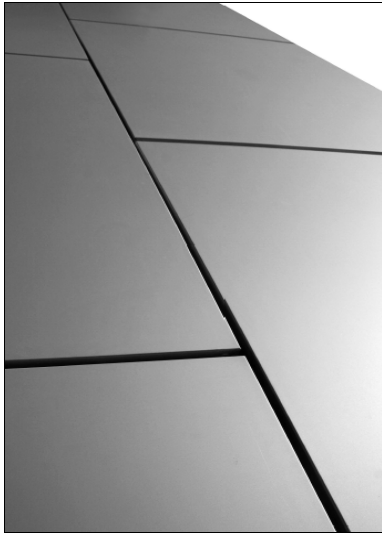


Figura 3.7

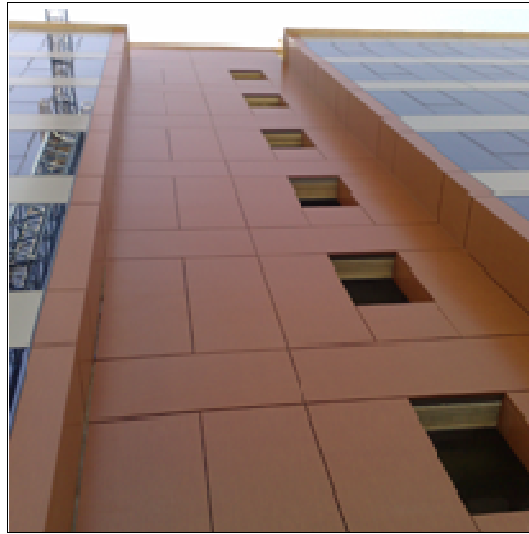
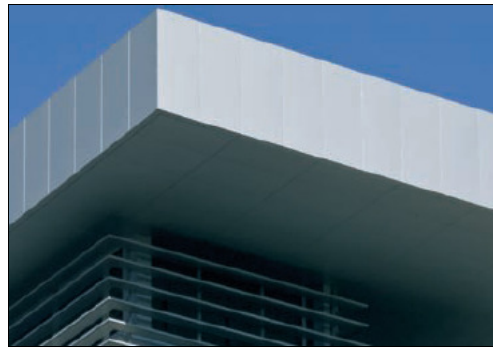


Figura 3.8



a)



b)



c)



d)

Figura 3.9 Vistas diferentes de una fachada con panel composite.

Aplicaciones:

- CENTRO METEOROLÓGICO DE SANTANDER, CANTABRIA:

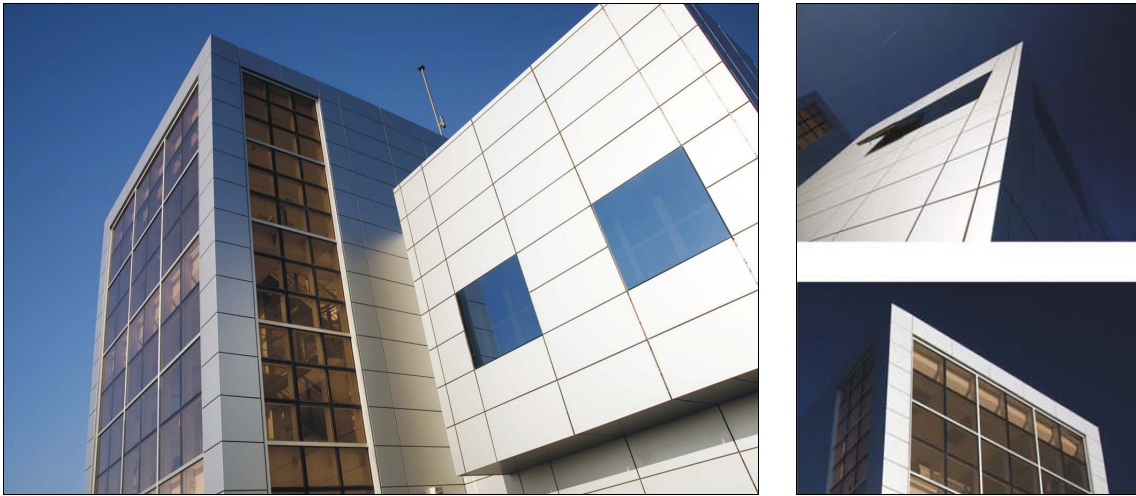


Figura 3.10 Fachada realizada con paneles composite.

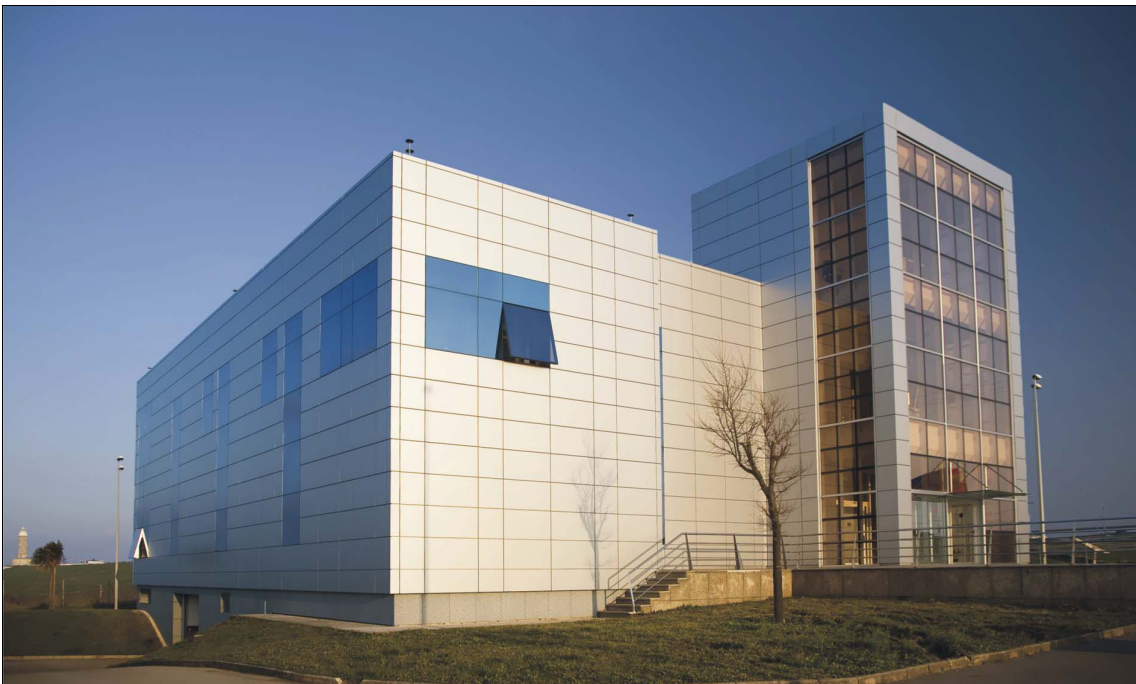


Figura 3.11 Vista general del edificio.

- URBANIZACIÓN “EL MIRADOR DE LA CALA” EN BENIDORM, ALICANTE:



Figura 3.12 Fachada de paneles composite y barandillas de material compuesto.



Figura 3.13 Vista general del edificio.

3 - AS CENTER II, EN PATERNA, VALENCIA:

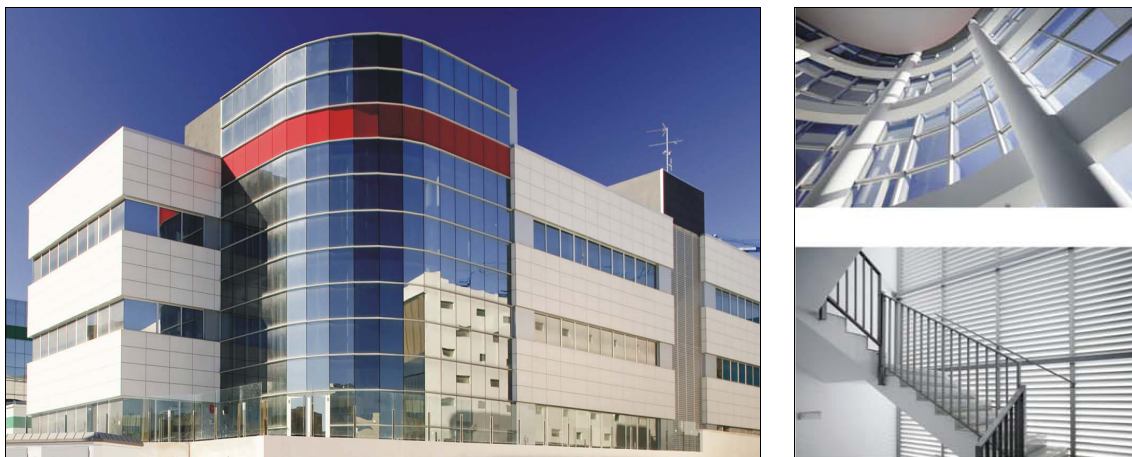


Figura 3.14 Edificio con fachada de paneles composite y celosías de MC.

3.2.1.3 - PANEL TERMOCONFORMADO CON UN TERMOPLÁSTICO Y CARGA DE FIBRA DE VIDRIO.

La industrialización de la fabricación de paneles ha conducido inevitablemente al desarrollo de los termoplásticos. Como continuación al éxito de las planchas de policarbonatos transparentes en multitud de aplicaciones de acristalamiento, se ha desarrollado un material con fines de revestimiento. Las planchas conformadas de policarbonato con carga de fibra de vidrio se presentan como paneles de revestimiento para todo tipo de edificios, residenciales, de oficinas o comerciales.

Estos paneles son elementos que aportan translucidez al diseño de fachadas ventiladas, marquesinas, paramentos verticales, falsos techos, etc.

Constructivamente se define como un producto diseñado con tecnología naval de embarcaciones deportivas, que combina la flexibilidad de la resina con la alta resistencia a la tracción de la fibra de vidrio. Gracias a la aplicación del material compuesto, esta mezcla produce un panel de alta resistencia al impacto, con un excelente comportamiento mecánico, una excelente resistencia térmica a cambios bruscos de temperatura y una buena estabilidad dimensional.

El producto es traslúcido debido al contenido de fibra pudiendo ser de color natural muy claro o coloreado con cualquier tonalidad.

La aplicación del producto está disponible en placa plana, ondulada y rejilla, y la sujeción a fachada se realiza mediante rástreles posteriores en aluminio o madera sobre los cuales podemos atornillar las placas.

Sus cualidades más importantes resumidas son:

- Translucidez
- Color a medida
- Alta resistencia
- Facilidad de montaje.

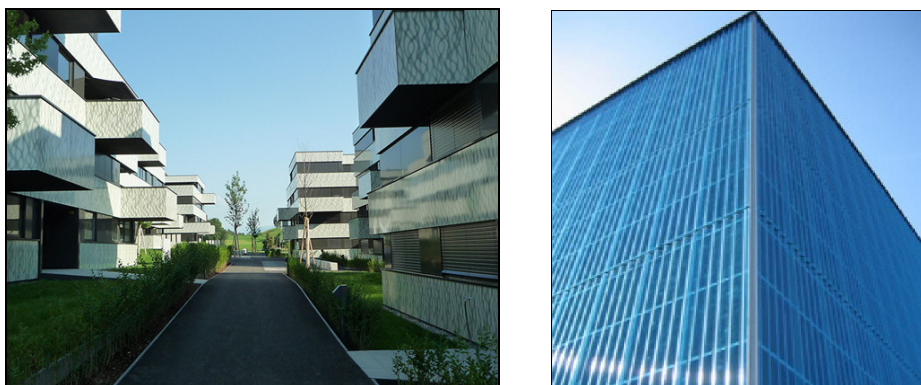


Figura 3.15 Varias construcciones de edificios que usan estos paneles.

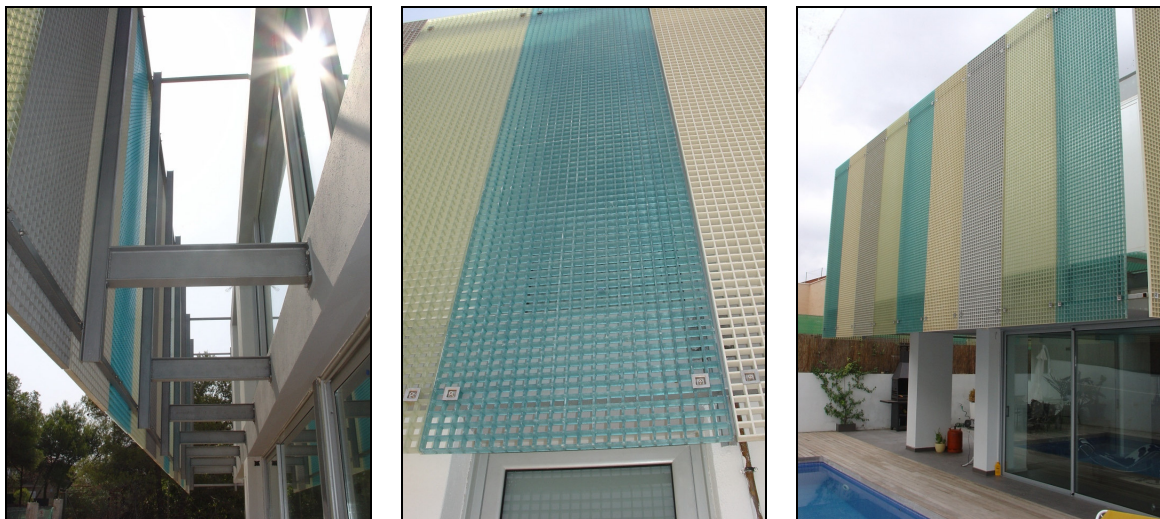
Aplicaciones:

- VIVENDA UNIFAMILIAR AISLADA EN MONCADA, VALENCIA:

La figura 3.16, muestra una vivienda unifamiliar, situada en Moncada (Valencia), que cuenta con elementos de fachada realizados en rejilla traslúcida y opaca.



Figura 3.16 Vista general de la vivienda.



Figuras 3.17 Detalles de elementos fabricados en MC.



Figura 3.18 Vista de una fachada lateral.

- VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA, EN CAMPOAMOR, ALICANTE:

Se trata de una vivienda unifamiliar, en Campoamor (Alicante). La aplicación del material destaca en la rejilla translúcida de cerramientos verticales y horizontales. Véase las siguientes figuras:



Figura 3.19 Vista de cerramiento vertical.



Figura 3.20 Uso de la rejilla como cerramiento horizontal o forjado



Figura 3.21 Otras formas de uso vertical y no de fachada.

- ESTACIÓN DE ESQUÍ EN SEILBAHN, ALEMANIA:



Figura 3.22 Vista de la estación de Seilbahn.

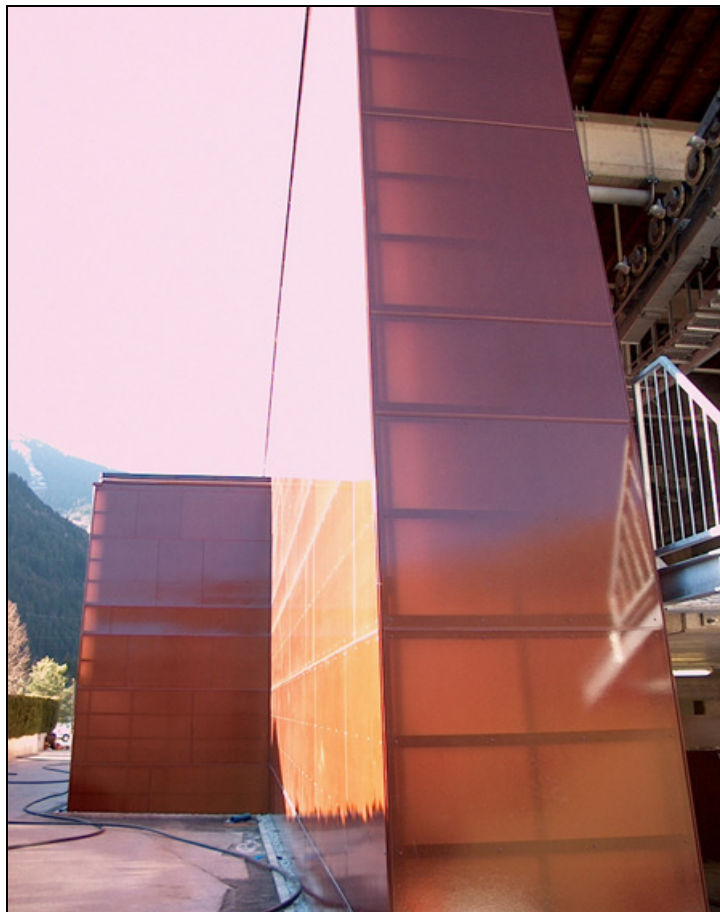


Figura 3.23 Detalle de las paneles lisas de M.C.

3.2.1.4 - PANELES ARQUITECTÓNICOS REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO AR, (GRC).

La fibra de vidrio AR, es una fibra con una elevada resistencia a la tracción, muy utilizada para reforzar las matrices de cemento. Cuando las fibras son incorporadas a una mezcla de cemento/arena, resulta un material ligero y similar al hormigón, consiguiendo las siguientes propiedades:

- Buena aptitud para reproducir detalles de superficie, ideal para imitar piedra o pizarra.
- Ligero, lo que reduce costos de transporte, además de puesta en obra e instalación.
- Gran resistencia contra la propagación de fisuras.
- Reducción de carga en los edificios.
- Bajo mantenimiento y muy buena resistencia al vandalismo.
- Aptitud para ser moldeable, siendo muy útil para renovación o restauración de inmuebles.

La fibra de vidrio AR, se utiliza generalmente para la fabricación de productos acabados de forma prefabricada (figura 3.24), para reforzar los revocos directamente en obra, además de controlar la retracción, la microfisuración y las subidas del hormigón colado en la obra.



Figura 3.24 Acopio de paneles prefabricados de GFRP.

El hormigón reforzado con fibra de vidrio AR (GFRP), es un material relativamente innovador en construcción, que facilita al arquitecto una gran oportunidad en diseño como son los paneles de cerramiento de fachada, antepechos de ventanas, maineles, forros de pilares, paneles decorativos interiores, etc.

Este material permite gran flexibilidad en el diseño de paneles con texturas y colores diferentes, potenciando el resultado estético final del edificio con multitud de acabados, juntas, relieves, etc. Además, es excelente para combinarse en armonía con otros materiales como el ladrillo, aluminio, piedra, etc.

EL GFRC, es un hormigón en el que la armadura metálica es sustituida por fibra de vidrio, absorbiendo esta los esfuerzos de tracción, consiguiéndose un elemento ligero debido a su escaso espesor al ser fabricado.

Sus posibilidades formales, le permiten la realización de réplicas exactas de elementos ornamentales en edificios históricos, como se verá más adelante, lo que deriva en un producto ideal para la rehabilitación de edificios, no transmitiéndose cargas importantes sobre la estructura existente dada su ligereza. Además es posible crear retranqueos en huecos de ventanas y celosías, que sirven de protección contra la incidencia directa de los rayos de sol. El grado de complejidad en el diseño tiene un efecto mínimo en el coste del panel, siempre y cuando se optimice su economía mediante la múltiple repetición del mismo.

Ventajas que destacan del panel;

- Eliminación de puentes térmicos: los paneles se colocan pasantes delante de la estructura.
- Es un material inorgánico que al arder no produce gases nocivos.
- Los paneles de GFRC, resultan adaptables a cualquier tipo de estructura.

En la figura 3.25 se demuestra la facilidad de ejecución, transporte y montaje, utilizando grúas de poco tonelaje y estructuras auxiliares de escasa entidad debido a su ligereza, lo que conlleva importantes reducciones en los plazos de ejecución de la obra, traducido en un ahorro de costes.



Figura 3.25 Elevación de prefabricado de GFRC.

Dentro de la fabricación de este tipo de paneles, existen diferentes tipologías:

PANEL DE LAMINA GRC

Este panel se compone de una lámina de de GFRG, de un espesor aproximado de 10 mm. Las dimensiones a las que puede llegar dependen mucho de la forma de la pieza y constitución, pueden tener o no partes que la rigidicen.

Para poder utilizar y aprovechar este pequeño espesor y realizar grandes paneles, se refuerzan mediante nervios del mismo material. En la práctica estos paneles se utilizan en elementos pequeños o en piezas que por su geometría sean más rígidas, (figura 3.26).



Figura 3.26



Figura 3.27

PANEL "STUD FRAME"

Estos paneles se componen de una lámina de GFRG, de un espesor aproximado de 10 mm., más una estructura complementaria de acero, conocido como "Stud-Frame", (figura 3.27). El bastidor o estructura de acero lleva unos conectores en la lámina con lo que puede conseguirse paneles de más de 20m² de superficie. En este tipo de panel el aislamiento térmico se puede colocar entre las propias barras del bastidor, o bien, una vez colocado el panel en obra, proyectando espuma de poliuretano.

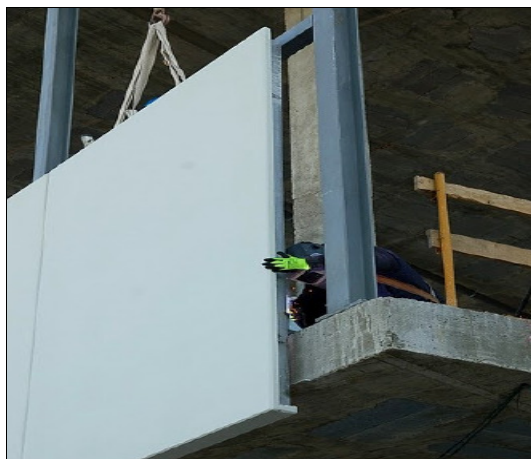


Figura 3.28 Vista de la colocación de paneles "Stud-Frame".

PANEL SÁNDWICH CON GFRC

El panel sándwich está compuesto por dos láminas de GFRC, de 10 mm., de espesor cada una y un núcleo de poliestireno expandido de entre 6 y 10 cm., que confiere al panel rigidez mecánica y un elevado grado de aislamiento térmico.

Aplicaciones:

- FACHADA GRC: EDIFICIO DE PRENSA DE LA CIUDAD OLÍMPICA DE LONDRES 2012.



Fig.3.29. Montaje del panel de GFRC.



Fig. 3.30 Detalle de fachada en GFRC.

- EDIFICIO DEL COLEGIO DE FARMACÉUTICOS DE VALENCIA.



Figura 3.31 Vista de fachada, realizada con paneles "Stud-Frame" texturizado.

- APARTAMENTOS EN EL PUIG, VALENCIA.



Figura 3.32 Vista de los apartamentos con fachada de paneles sándwich GFRC.



Figura 3.33 Vista de dos de las fachadas con paneles sándwich GFRC.

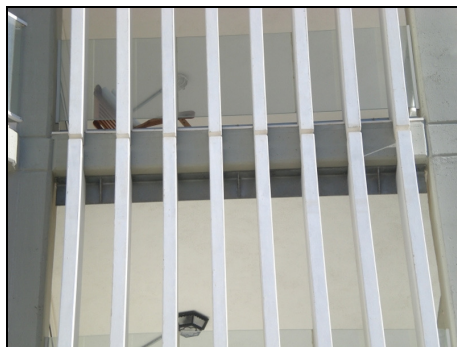


Figura 3.34 Detalle de lamas realizadas en MC.

- EDIFICIO DE EQUIPAMIENTOS “ALEXANDRA”, EN SABADELL.

Edificio de equipamientos en Sabadell, edificio Alexandra, con fachada realizada en paneles de G.R.C., obra que ha sido galardonada como una de las mejores edificaciones de vivienda protegida, en obra nueva de España.



Figura 3.38 Vista del edificio y su fachada.

Los cerramientos fueron ejecutados mediante paneles de G.R.C. (hormigón armado con fibra de vidrio) en combinación con otros materiales, obteniendo el efecto deseado. El G.R.C. es un innovador material que aporta una total perdurabilidad (alta resistencia a la flexión, tracción e impacto, incombustibilidad, impermeabilidad, resistencia a agentes atmosféricos, corrosión, etc.) y un alto valor estético que permite a los arquitectos desarrollar toda su capacidad creativa.

Otras aplicaciones:

- REVESTIMIENTO DECORATIVO EXTERNO DE MATERIAL COMPUESTO:

Se trata de un material para el revestimiento, que puede ser aplicado tanto en fachadas, en interiores o exteriores, ver figura 3.41. Se trata de una celosía arquitectónica, realizada con material composite, que se obtiene de la cascara de la almendra triturada y mezclada con diversas resinas, que resulta biodegradable y reciclable, y que puede ser considerado como producto ecológico, porque como eficaz alternativa a la madera, evita la tala de árboles.

Se pueden utilizar para conseguir profundidad, para separar ambientes, tamizar la luz solar (figura 3.39), o simplemente para decorar interiores y exteriores (figura 3.40), con una gran diversidad de acabados.



Figura 3.39 Uso de celosía para tamizar la luz.



Figura 3.40 Uso de celosía en exteriores.



Figura 3.41 Vista de fachada con revestimiento de la celosía de MC.

3.2.2- CUBIERTAS:

3.2.2.1 - Placas y planchas traslúcidas para cubiertas.

3.2.2.2 - Sistemas y elementos de cobertura con GRC.

La aplicación para cubiertas tiene mucha relación con los elementos mostrados anteriormente para fachadas de MC, las placas planas y onduladas simples con posibilidad de montar sistemas sándwich y los paneles sándwich de poliéster o viniléster reforzados con fibra de vidrio, son igualmente hábiles para constituir cubiertas ligeras de edificios, tanto planas como inclinadas, sobretodo en aplicaciones industriales. Estas soluciones confieren la resistencia necesaria para las cargas que debe soportar la cubierta, y dotan de aislamiento térmico y acústico al conjunto.

Existe otra solución con elementos de cubierta que mezclan PVC con MC (figura 3.42). Este tipo de cubierta no está íntegramente formada de materiales compuestos, utiliza elementos plásticos aprovechando sus buenas propiedades ante la corrosión, la intemperie, y aislantes. En casos en los que la resistencia deba ser muy elevada, esta opción se torna muy complicada e inadecuada, y además el coste que supondría sufriría un aumento considerable. Además, por el hecho de usar PVC implica problemas medioambientales que descartaría la solución. Es por ello que los fabricantes están estudiando la posibilidad de sustituir el material plástico manteniendo el sistema de trabajo.

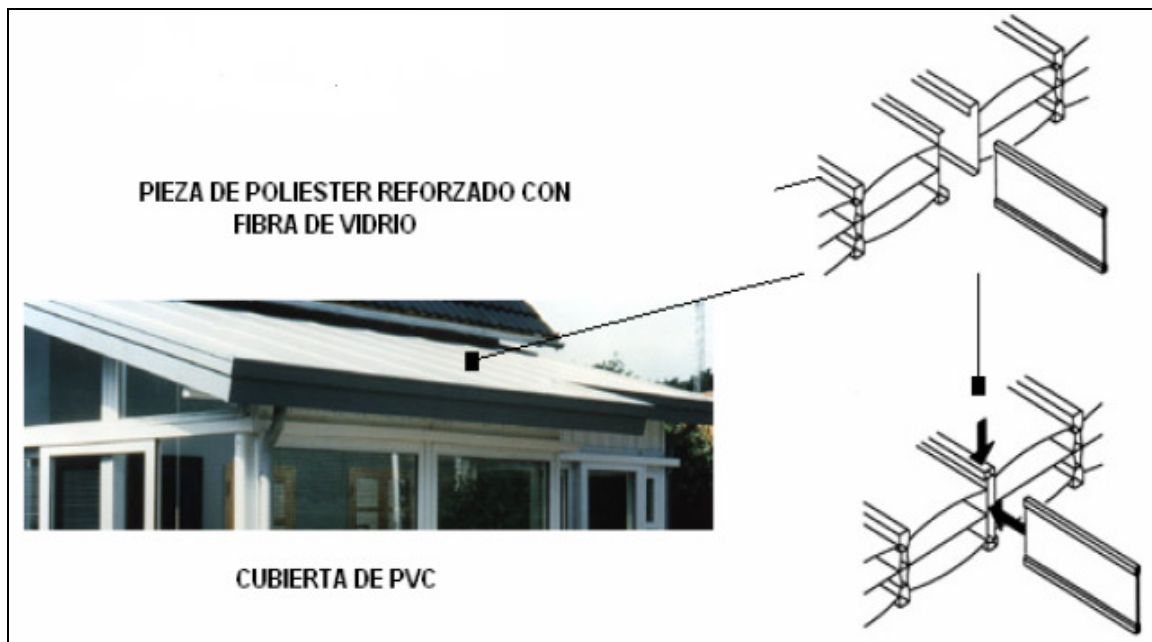


Figura 3.42 Solución de MC para cubiertas inclinadas.

3.2.2.1 - PLACAS Y PLANCHAS TRASLÚCIDAS PARA CUBIERTAS.

La placa translúcida es una solución de iluminación natural a través de una cubierta o un parámetro en:

- Naves industriales.
- Cubiertas de grandes superficies.
- Naves agrícolas y ganaderas.
- Aparcamientos, cobertizos y marquesinas.
- Falsos techos translúcidos.

Gran parte de la arquitectura, tanto industrial como residencial, de hoy en día está caracterizada por el empleo de grandes superficies translúcidas que captan y transmiten lo máximo posible la luz natural.



Figura 3.43 Cubierta realizada con placas translúcidas.

Ello aunque dificulta el aislamiento del edificio, supone un importante ahorro energético al reducirse las horas de empleo de iluminación artificial. La composición del producto se basa en una resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, con un tratamiento de gel-coat.

Otro tipo de aplicación son las planchas de fibra de vidrio translúcidas, y se usan generalmente para techar cobertizos o terrazas.

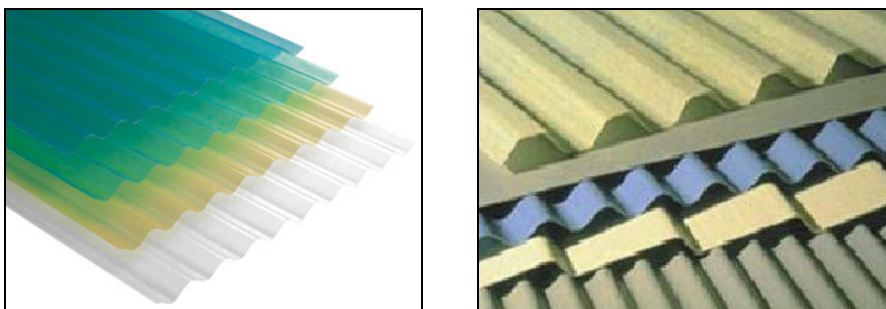


Figura 3.44 Varios tipos de planchas onduladas de FV translúcidas.

3.2.2.2 - SISTEMAS Y ELEMENTOS DE COBERTURA CON GRC:

Otra aplicación para cubiertas son los materiales compuestos de GFRG. Como se ha descrito en apartados anteriores, este es un material ligero y resistente, fácil de solucionar y no es afectado por las condiciones ambientales. Puede imitar a materiales tradicionales como techos de pizarra, piedra natural o productos de arcilla, pero con la diferencia de que no son ni pesados, ni frágiles. Es aplicable para accesorios de cubiertas, como remates, chimeneas, etc.

Entre las distintas aplicaciones de este material, se encuentran:

- TEJAS:

Sistemas de cobertura realizadas en materiales compuestos o composite para cubiertas, imitan materiales para tejados como la pizarra o madera, pero que mejoran las propiedades de uso y los costes de los materiales resultan menores. Ver figuras:



Figuras 3.45 Tejas que imitan madera.



Figuras 3.46 Tejas que imitan otros materiales.



Figura 3.47 Vista de tejado realizado con tejas de GRC.



Figura 3.48 Aplicación de tejas imitación a la pizarra con MC.

- TORREONES: Réplica en MC en sustitución de los anteriores de piedra, ver figuras:

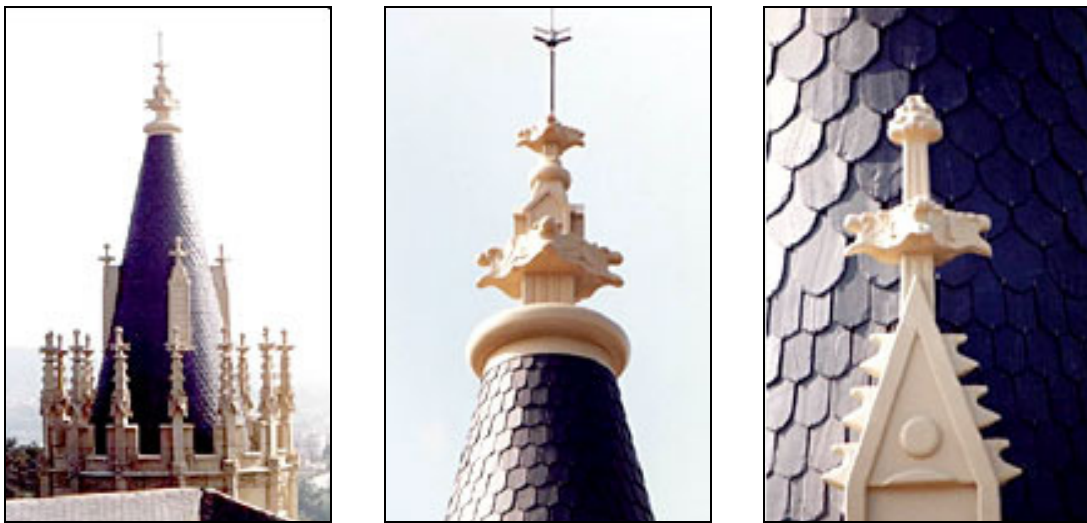


Figura 3.49 Torres de Arbide en Miramón, San Sebastián.

- CÚPULAS:

El plástico reforzado con fibra también tiene ampliamente aplicación en la fabricación de cúpulas, ya que se puede obtener superficies lisas personalizar con distintos colores, y lo más importante un elemento que resulte ligero en comparación con los materiales tradicionales y originales de formación de estos elementos.



Figura 3.50



Figura 3.51

- OTROS DETALLES:

Limatesas, ojos de buey, lucernarios, remates de cumbreras, etc. Todos estos elementos también tienen aplicación en material compuesto.



Figura 3.52 Vista de limatesa y cumbrera con MC. Figura 3.53 Vista de Ojo de buey en MC.



Figura 3.54 Detalle de remate en cubierta.

3.2.3 - APLICACIONES INTERIORES:

3.2.3.1 - Tabiquería.

3.2.3.2 - Pavimentos.

3.2.3.3 - Otros; elementos decorativos, revestimientos, mobiliario, otros, etc.

Dentro de las edificaciones, la utilidad y aplicabilidad de nuevos materiales composite, está suponiendo una gran revolución, tanto para elementos de tabiquería, como para suelos, revestimientos, techos y todo tipo de elementos decorativos o mobiliario, que se muestra a continuación:

3.2.3.1 - TABIQUERÍA:

- PANELES INTERIORES DE YESO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.

El yeso reforzado con fibra de vidrio, es una alternativa de interés para las tabiquerías de las edificaciones. La resistencia del yeso reforzado con esta fibra es aproximadamente el doble a la del yeso sin reforzar. Se ha desarrollado un sistema constructivo que obtiene su éxito al combinar los sistemas prefabricados de tabique seco, ligero, rápido en montaje (figura 3.57) y con un alto aislamiento acústico y térmico, con el sistema tradicional de tabique sólido y consistente. Todo ello para las siguientes aplicaciones: trasdosados de fachadas, tabiquería interior y separación de viviendas (figura 3.55).



Figura 3.55

Principales ventajas:

- Permite acabados directos sin necesidad de enlucir.
- Aprovechamiento de orificios verticales para introducir las instalaciones, ver Figura 3.56.
- Montaje sobre forjado o suelo terminado.
- Buena resistencia a flexo-tracción.
- Rapidez de ejecución y secado de la obra.
- Rapidez de instalación y limpieza de obra.
- Alto aislamiento acústico y térmico.



Figura 3.56 Detalle del material.



1)



2)



3)



4)



5)

Figura 3.57 Proceso de montaje de paneles de yeso reforzados con fibra.

- ELEMENTOS DE TABIQUERÍA INTERIOR PARA EDIFICIOS INDUSTRIALES DE M.C.

Para los edificios industriales, existen elementos composite disponibles que puede desempeñar la función de elemento de tabiquería, son paneles modulares de alta resistencia mecánica y con numerosas posibilidades de acabados. Los tabiques pueden estar formados por poliéster estándar, poliéster retardantes de llama o con viniléster (con resistencia extraordinaria a la corrosión), todos ellos reforzados con fibra de vidrio.

Las propiedades más destacadas de estos perfiles para tabiquería son la facilidad y tiempo reducido de montaje, mantenimiento escaso, alta resistencia, reducido peso y fácil transporte. Gracias a sus excelentes propiedades mecánicas y a la resistencia a la intemperie, es posible considerar el uso de estos paneles como elementos de fachada.



Figura 3.58

- PANELES ESPECIAL PARA ZONAS EXPUESTAS AL AGUA DIRECTA.

Este sistema se trata de un panel cubierto por ambos lados de conglomerado cementoso, relleno de fibra de vidrio, ver figura x. El panel está diseñado para su aplicación sobre estructuras metálicas o de madera estándar, también sobre paneles de fibra-yeso. Una vez colocado, se procede al sellado de uniones y ángulos con cinta de sellado. El panel está diseñado con este material para su aplicación en zonas húmedas de uso muy intenso, como por ejemplo piscinas, spas, baños públicos etc.

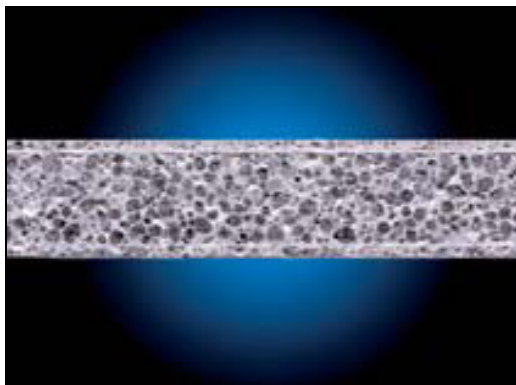


Fig. 3.59. Detalle de la sección del panel.



Fig.3.60 Aplicación del panel en duchas.

3.2.3.2 - PAVIMENTOS:

Otro tipo de material composite para revestimientos de suelos, externo o interno, además de otras numerosas aplicaciones son, los compuestos plásticos basados en la madera (WPC).

Son materiales y/o productos constituidos por materiales celulósicos de madera y/o fibras de madera y materiales termoplásticos, que se procesan mediante técnicas de transformación de plásticos.



a)



b)



c)



d)

Figura 3.61 Varios productos de composites plásticos de madera (WPC).

En la actualidad se vienen usando en aplicaciones en los que los requerimientos mecánicos no son demasiado elevados, debido a sus limitaciones en propiedades mecánicas. Se utilizan para:

- Suelos de terrazas o porches.
- Revestimientos de techos, paredes y panelados.
- Escaleras, barandillas, pasamanos, vallas.

Ejemplos: de aplicación, en suelos, terrazas o porches, ver figuras:



Figura 3.62 Suelo de terraza en WPC.



Figura 3.63 Porche realizado con WPC.



Figura 3.64 Otro ejemplo de porche en WPC.

3.2.3.3 - OTROS; ELEMENTOS DECORATIVOS, REVESTIMIENTOS, MOBILIARIO, ETC.

- PANEL DECORATIVOS EN COMPOSITE.

Este es un tipo de panel termoplástico, realizado con un núcleo de nido de abeja en material composite traslúcido, que aporta cualidades estéticas, estructurales y de diseño, como la transparencia, el color y la rigidez. El producto se desarrolla como soporte de otros materiales como el mármol y la piedra natural.

El material ofrece a los arquitectos y diseñadores, una amplia colección de productos para reinterpretar tabiques, puertas, mesas, techos nuevos y todo lo que puede ser diseñado con un panel de material compuesto. Ver los siguientes ejemplos;

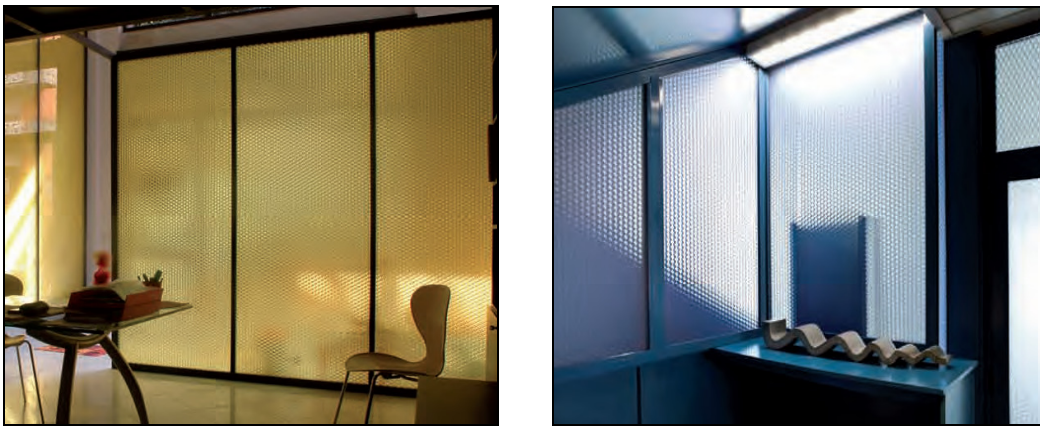


Figura 3.65 Vista de tabiques interiores.



Figura 3.66 >Tipos de mobiliario realizados en material composite.



Fig. 3.67 Mesa realizada con panel decorativo. Fig. 3.68 Suelos elevados de material composite.

- OTROS REVESTIMIENTOS DECORATIVO PARA INTERIORES.

Otra aplicación en forma de revestimiento decorativo, se obtiene por la técnica de moldeo de un material composite, que se obtiene de la cascara de la almendra triturada y mezclada con diversas resinas, que resulta biodegradable y reciclable, y que puede ser considerado como producto genuinamente ecológico.

El material puede adquirir multitud de acabados, con terminación en mate o en brillo. Ver figuras:

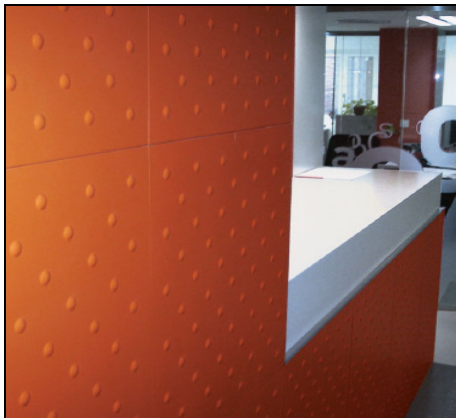


Figura 3.69 Acabado brillo.



Figura 3.70 Acabado mate.

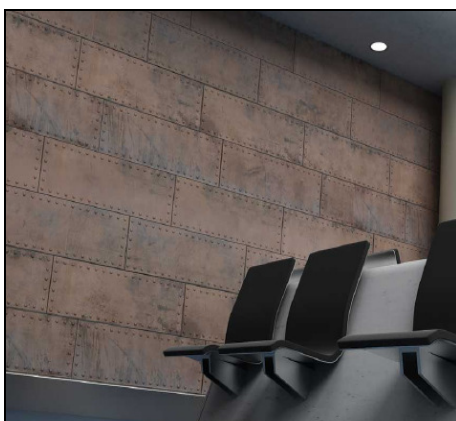


Figura 3.71 Efecto metalizado.



Figura 3.72 Efecto hormigón.

- MOBILIARIO:



Figura 3.73 Mueble cómoda realizado en composite.

- LÁMPARAS:

Este tipo de lámpara está realizada en fibra de carbono, utilizando las mejores cualidades del material, que son su resistencia y ligereza. La complejidad de la curva es de difícil formación con otros materiales mientras que la formabilidad de este material hace que sea plenamente viable. Otro factor positivo es la estabilidad y la poca necesidad de mantenimiento que requiere.

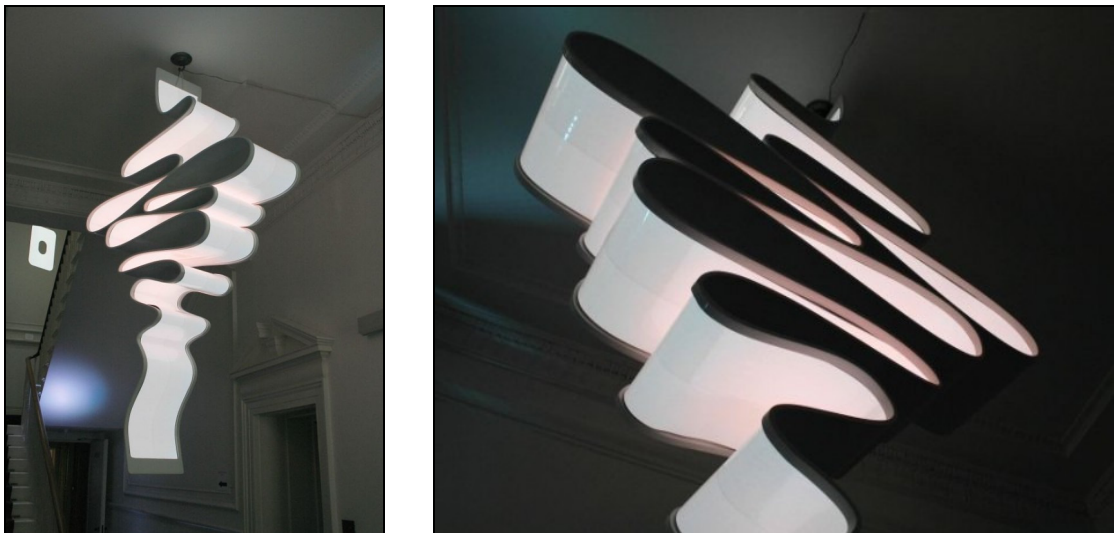


Figura 3.74 Vistas de la lámpara realizada con fibra de carbono

- ESCALERAS:

Aquí se muestran unos ejemplos de escaleras realizadas con materiales compuestos avanzados de fibra de carbono y de vidrio. Es una escalera de caracol ejecutada mediante una matriz que se repite durante su desarrollo y de una barandilla que la recorre de modo helicoidal. Ver figura 3.75.



Figura 3.75 Vista de la escalera realizada en MC.



Figura 3.76 Detalle del eje de la escalera.

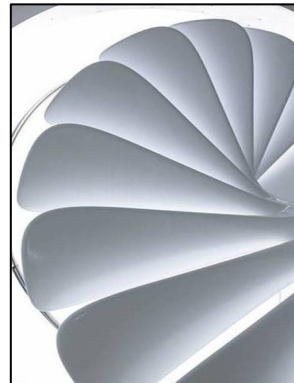


Fig. 3.77 Detalle de escalones.



Figura 3.78 Escalera monolítica de MC.

- OTROS:

Otra aplicación como elemento decorativo, son los cabeceros de cama. Fabricados con fibra de madera y una resina especial de melanina, que confiere al producto final, unas características físico-mecánicas de gran resistencia, así como de resistencia a la humedad. Ver figuras:

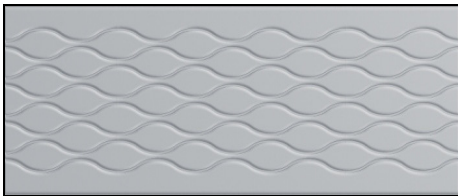


Figura 3.79 Detalle del panel.



Figura 3.80 Aplicación del panel decorativo.

- OTROS:

La aplicación con GFRC da muchas soluciones mobiliarias y estéticas, como se muestra a continuación, bañeras, bancadas de cocina, pilas de baño de diseños modernos y minimalistas, etc. El material de GFRC, está basado en cemento blanco, arena fina y una mezcla específica de fibras que no se ven pero añaden fuerza flexibilidad a la mezcla, según fabricantes. Se pueden fabricar todo tipo de piezas concretas;



Figura 3.81 Bañera.



Figura 3.82 Bancada de cocina.



Figura 3.83 Pila doble de baño.



Figura 3.84 Pila de cocina.

3.2.4 - APLICACIONES ESTRUCTURALES:

En la última década ha habido un crecimiento significativo en el uso y aplicación de materiales compuestos avanzados en la construcción, dentro de la ingeniería estructural, tanto en edificación civil como industrial. Los nuevos materiales, conocidos como plásticos reforzados con fibra (PRF), han demostrado ser valiosos para su uso en la construcción de nuevos edificios, y sobre todo de infraestructuras, así como para la mejora de los actuales.

A medida que este tipo de materiales ha hecho su transición desde el laboratorio de investigación a la aplicación en casos reales, es ahora, a principios del siglo XXI, cuando la ingeniería estructural está a punto de entrar en una etapa en la que el diseño con materiales compuestos de FRP se convertirá en rutina como es el diseño con materiales clásicos, tales como la madera, el acero y hormigón, entre otros.

Los tipos de aplicaciones más importantes mediante el uso de materiales compuestos en elementos estructurales son:

3.2.4.1 - Alternativas al armado para el refuerzo de nuevas estructuras.

3.2.4.2 - Rehabilitación, restauración y refuerzo de estructuras existentes.

En España existe un parque estructural, tanto en obra civil como en edificación que requiere de su adecuación al uso, bien por la necesidad de reparación debido a la degradación, o por la actualización a las nuevas normativas,...etc. Para dar respuesta a todas estas exigencias, surgió el refuerzo mediante platabandas de acero, pero se limitó su uso debido a los altos costes de fabricación, al ser elementos muy pesados, creando dificultosa su colocación y por su rápido deterioro debido a la corrosión.

En los últimos 20 años atrás han aparecido los polímeros reforzados con fibras (FRP), como alternativa a las platabandas de acero. En el campo de la rehabilitación y/o reconstrucción es donde más rápido y con mayor éxito se están aplicando estos nuevos materiales compuestos, realizándose las reparaciones y adaptaciones de la estructura, de forma muy rápida, con pocos operarios y utilizando medios auxiliares ligeros, minimizándose las interrupciones del uso de la estructura y las molestias a los usuarios.

Es por lo tanto que los materiales de FRP se están utilizando ahora en nuestra industria para fortalecer el hormigón, acero y las estructuras de mampostería, compitiendo directamente con las técnicas tradicionales, como la ampliación de la sección, postensado externo y el refuerzo con placas de acero. Seguidamente voy a analizar más detalladamente los tipos de aplicaciones más comunes, trataré cada uno de ellos con ejemplos visuales, destacando la utilización de estos nuevos materiales compuestos y/o alternativos.

3.2.4.1 - ALTERNATIVAS AL ARMADO PARA EL REFUERZO DE NUEVAS ESTRUCTURAS.

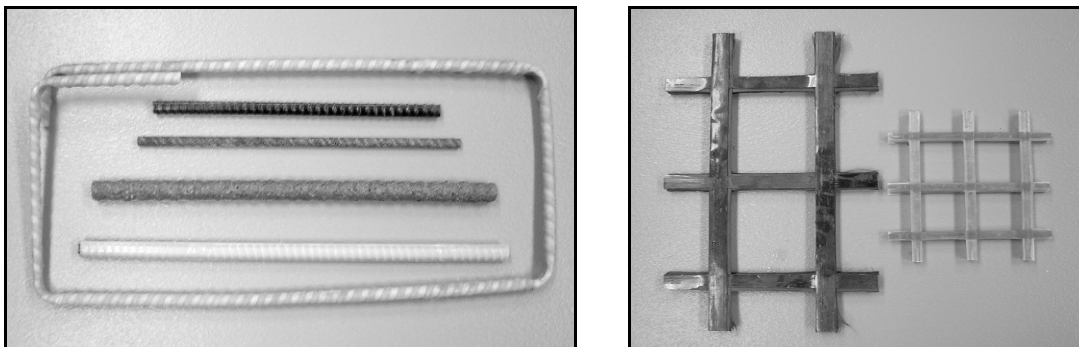
Para este tipo de aplicación, el refuerzo mediante el acero, es reemplazado total o parcialmente según el caso, por fibras cortas, perfiles, redes de fibras, barras o cables de pretensado internos. Este tipo de refuerzos o alternativas pueden dividirse en varios tipos:

- A) - Barras, perfiles y otros elementos de FRP para estructuras de hormigón armado.
- B) - Cables y otros sistemas estructurales para hormigón pretensado.
- C) - Encofrados de FRP para estructuras de hormigón armado.

Introducción:

El uso de barras, mallas o redes de FRP para el refuerzo del hormigón, es cada vez mayor en la ingeniería estructural, sobre todo para la reparación y fortalecimiento de estructuras, pero también en la construcción de nuevas.

Entre los años 50 y 70, se realizaron algunos estudios con el objetivo de profundizar en el uso de barras de fibra de vidrio FRP, para reforzar o pretensar elementos de hormigón. Y a finales de 1980, es cuando el interés por el uso de barras de FRP recibió un impulso, al centrarse la atención en mitigar el efecto de corrosión en los tableros de puentes de hormigón armado. Se desarrolló entonces un tipo de barras alternativas al armado tradicional, de fibra de vidrio recubiertas de arena, que se utilizó experimentalmente en tableros y cubiertas de distintos puentes. Al mismo tiempo también se centraron en los refuerzos de fibra de carbono, debido a la preocupación por la degradación que sufría la fibra de vidrio en ambientes alcalinos.



Figuras 3.85 Primeros prototipos de barras y mallas, reforzadas con fibra de vidrio y carbono.

Hoy en día, las barras de FRP que refuerzan el hormigón son realizadas con ambos tipos de fibras, de vidrio y carbono, y son producidos por un gran número de compañías en América del Norte, Asia y Europa. Ver figuras 3.86.



a)



b)

Figura 3.86 Detalle de barras con fibra de carbono (a), y con fibra de vidrio (b).

El uso de estas barras ha dejado de ser exclusivo en proyectos de prueba y demostraciones, y se ha convertido en una realidad, en proyectos con requerimientos especiales o de ambientes agresivos. Las aplicaciones más frecuentes se realizan en infraestructuras, ejemplo de la figura 3.87, más que en edificación, pero no se descarta su uso más asiduo en un futuro.



Figura 3.87 Cubierta para puente realizada con armado de fibra de vidrio.

A) - BARRAS, PERFILES Y OTROS ELEMENTOS DE FRP PARA ESTRUCTURAS DE H.A.

Hoy en día se sabe de la existencia de los problemas que produce la utilización del acero como armadura del hormigón: corrosión, magnetismo o una densidad demasiado elevadas, son los más importantes. Una alternativa a este material lo constituyen los redondos de FRP, de fibra de vidrio revestido por una matriz termoendurecible (poliéster, viniléster o epoxi), o de carbono.

Al estar la fibra de vidrio revestida por una resina, no existen problemas ni de abrasión ni de reacción química alcalina del hormigón. La adherencia entre este tipo de redondos y el hormigón es muy alta, ya que se obtiene un gran relieve de la superficie comparable al redondo de acero.

En muchos casos puede reducirse sensiblemente la cantidad de hormigón usado ya que este se sobredimensiona para ofrecer la protección deseada al hierro.

Descripción del material:

Desde el punto de vista técnico, cuando se habla de barras reforzadas con fibras de vidrio, nos referimos a barras de polímeros reforzados con fibras de vidrio o también llamadas barras de GFRP, (figura 3.88). Estas pueden ser utilizadas como una alternativa válida a las barras redondas de acero inoxidable, o bien a las revestidas con resinas epoxi, o galvánicamente protegidas.

Las barras reforzadas de fibra de vidrio (GFRP), están hechas con hilos de fibra de vidrio, estos son puestos bajo tensión y son impregnados con una resina termofraguante, de manera que se logra que las fibras se mantengan todas juntas y se comporten como si constituyeran un elemento único, resultando un producto totalmente inerte, resistente a la corrosión y a los álcalis. Para aumentar su capacidad de adherencia con el hormigón, la parte exterior de las barras es zunchada por tejidos de la misma fibra con forma helicoidal y revestida exteriormente con gránulos de arena de sílice o de grano grueso.



Figura 3.88 Barra reforzada con fibra de vidrio (GFRP).

La fabricación de las barras de GFRP se realiza mediante el proceso de pultrusión (figura 3.89), con moldes adecuados, según la sección que se desee conseguir, encontrándose disponibles en diámetros que van desde los 6 a 32 milímetros, y longitudes de 6 m., según fabricante, (figura 3.90). Se recomienda almacenarlas en lugares planos y no expuestos al sol por muchos meses.



Figura 3.89 Detalle de una barra pultrusionada.

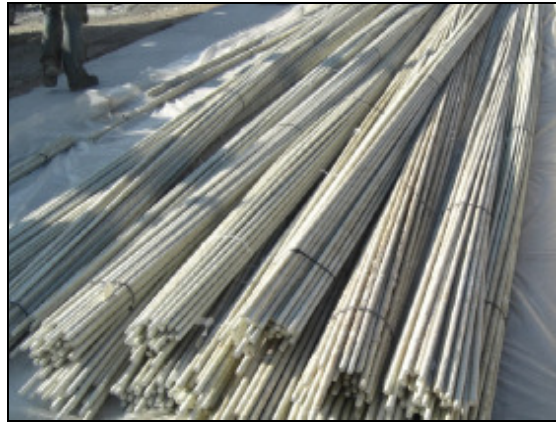


Figura 3.90 Detalle de la longitud de barras.

Estribos, formas particulares y elementos curvos:

Los elementos curvos, estribos o formas particulares de las barras reforzadas con fibra de vidrio son fabricados por moldeo y con la forma final antes de producirse la termo-estabilización de la resina en la matriz. Así como el acero permite su doblado, con este material no es posible cambiar la forma de los mismos en el lugar de aplicación, debiendo ser usados como fueron producidos en la fábrica.



Figura 3.91 Elementos curvos realizados con fibra de vidrio.

Sin embargo, es posible realizar la superposición de los bordes. Un ejemplo: para obtener una barra reforzada de 10 metros de longitud, que en uno de los extremos tenga un gancho en forma de "J", se tienen que superponer los bordes de un elemento con gancho en forma de "J" a aquellos de una barra reforzada de 10 metros (la longitud de la junta tendrá que ser igual a 40 veces el diámetro).

También los estribos pueden ser aplicados por superposición, pero es suficiente una longitud de los bordes igual a 30 veces el diámetro. El ancho mínimo interno de un estribo es de 25 cm.

Los elementos curvos de las barras reforzadas de GFRP presentan una resistencia a la tracción inferior con respecto a la de los elementos rectos. Estudios e investigaciones han demostrado que la capacidad máxima de carga de un elemento curvo es igual al 40% de la de una barra recta.

Longitud de los empalmes con bordes superpuestos - Tensión.

Para obtener una transmisión eficaz de la resistencia entre dos barras reforzadas de GFRP, que estén empalmadas por superposición de las extremidades, se aconseja efectuar el empalme con una longitud igual a 40 veces el diámetro de las mismas barras. La longitud, entonces resulta superior a la utilizada para el acero (30 veces el diámetro, para acero de categoría B-400, con diámetros inferiores a los 19 mm.).

Recomendaciones en el modo de utilización y puesta en obra:

Cuando se manipulen las barras reforzadas con fibra de vidrio, se recomienda usar guantes. Si se necesitara cortar las barras, puede utilizarse una hoja de sierra de albañil o de diamante, una piedra o sierra de hojas finas.

Las barras reforzadas de fibra de vidrio no pueden ser dejadas bajo el sol durante largos periodos de tiempo y tendrán que estar acopiadas sobre pallets.

Estas barras tienen un peso específico muy bajo y presentan por lo tanto una tendencia a flotar en el hormigón durante la fase de vibración, siendo necesario bloquearlas adecuadamente dentro de los encofrados, ver figuras 3.92 y 3.93.



Figura 3.92 Atado de las barras.

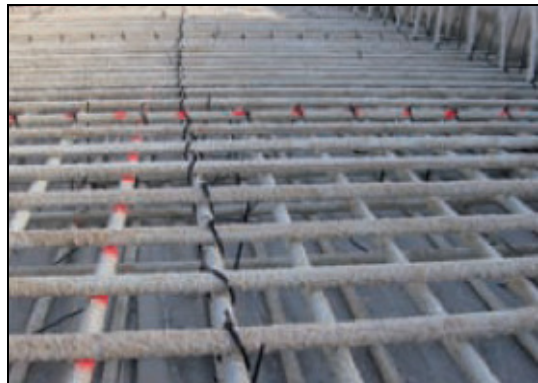


Figura 3.93 Detalle de las barras ya atadas.

Ventajas del material:

Entre las ventajas de la utilización de este tipo de material podemos destacar:

- Aumento significativo de la duración de las estructuras de ingeniería que se encuentran instaladas en ambientes agresivos.
- Ninguna necesidad de realizar operaciones de reparación y/o mantenimiento.

De manera específica resultan:

- Son resistentes a la corrosión. Esta resistencia es inherente al material y son inertes en presencia de sustancias agresivas, álcalis y en especial a iones cloro.
- Resistentes desde el punto de vista químico.
- Presentan una resistencia a la tracción superior a la del acero, entre 1,5 y 2 veces, pero solamente con un peso igual a un cuarto. Por lo tanto, pueden ser transportadas y montadas sin necesidad de tener que utilizar grandes equipos de elevación.
- Transparentes a los campos magnéticos y a las radiofrecuencias.
- Aislantes tanto desde el punto de vista eléctrico como del térmico.
- Buena resistencia a los choques, soportan cargas puntuales repentinas y violentas.
- Excelente resistencia a la fatiga, sobretodo en condiciones de cargas cíclicas.
- Son dimensionalmente estables en situaciones de sollicitación térmica. En casos en que el hormigón está sometido a variaciones de temperatura las barras de fibra de vidrio se comportan con una admirable estabilidad dimensional.

Se justifica el uso de este tipo de material en todos los elementos de hormigón en los que se pueda verificar la corrosión de la armadura de acero, debido a los iones cloro o por el ataque químico, además de;

- Todas aquellas situaciones en las cuales, normalmente, son empleadas barras redondas de acero inoxidable, o bien revestidas con resinas epoxi o protegidas galvánicamente.
- Todos los elementos de hormigón en los cuales el cemento presente una sección fina y donde no sea posible realizar un recubrimiento adecuado con el cemento, como por ejemplo, en los elementos de arquitectura prefabricados.
- Todos aquellos elementos de hormigón que requieren armaduras no metálicas por razones de electromagnetismo.

Usos específicos:

- **Hormigones expuestos a sales anticongelantes;** cubiertas de puentes, pasarelas, losas de acercamiento, etc. Ver figuras 3.94.

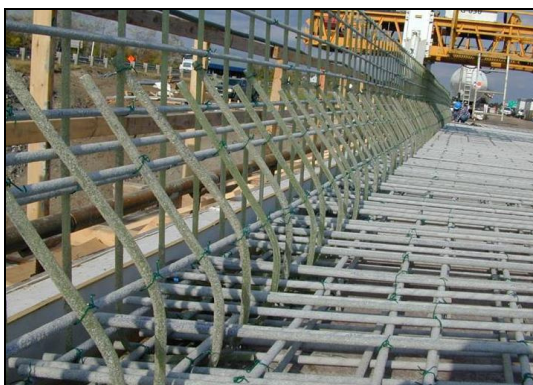


Figura 3.94. Detalles de tablero de puente con armado de fibra de vidrio.

- **Hormigones expuestos a sales marinas:** edificios y estructuras cercanas a las costas, muelles, espigones, plataformas flotantes o diques, etc. Ver figura 3.95.

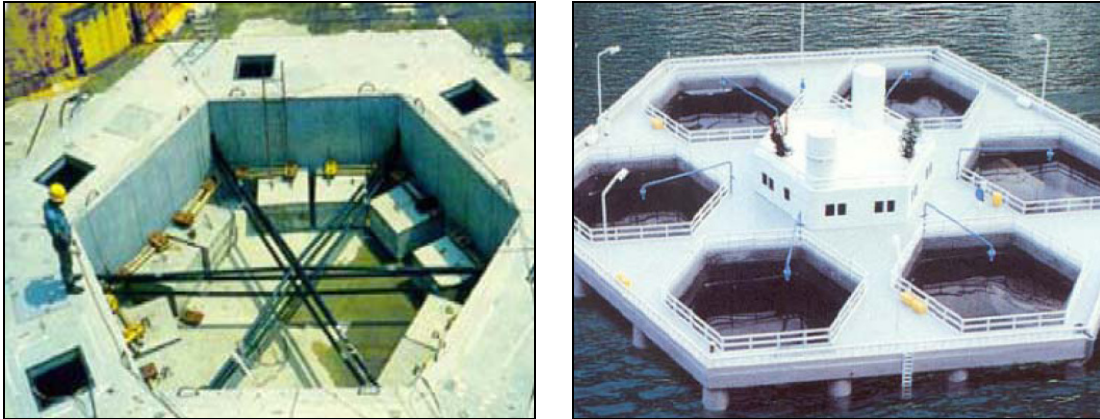


Figura 3.95 Ejemplos de estructuras flotantes marinas.

- **Hormigones expuestos a otros elementos agresivos:** chimeneas, torres de enfriamiento, instalaciones especiales como petroquímicas o para tratamiento de aguas, etc. Ver figuras 3.96 y 3.97.

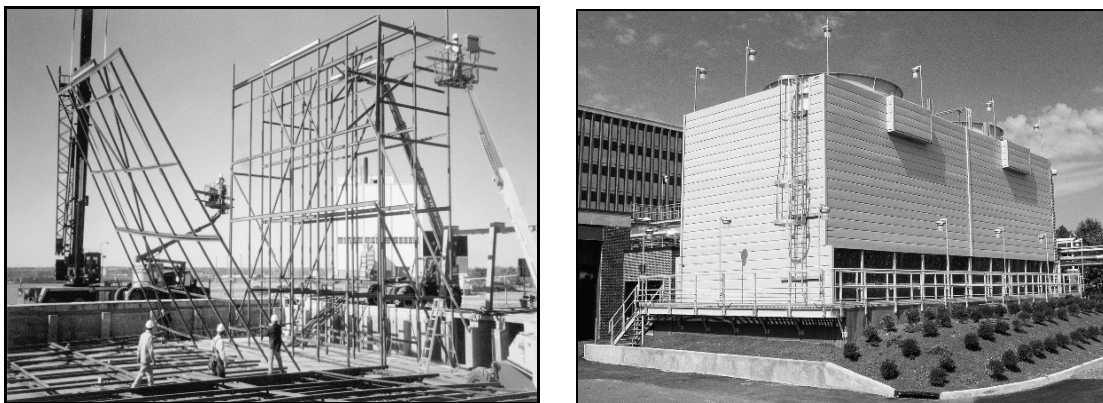


Fig. 3.96 Torre de enfriamiento en construcción. Fig.3.97 Torre de enfriamiento realizada con FRP.

- **Elementos de hormigón con secciones finas:** cornisas, elementos almohadillados, balcones, revestimientos arquitectónicos, etc. Se introduce el armado para formar el elemento en moldes.



Fig. 3.98 Elementos almohadillados.

Fig. 3.99 Balaustradas con armado FRP.

- **Aplicaciones electromagnéticas;** torres de control, estaciones de transformación, laboratorios para resonancias electromagnéticas, etc.



Figura 3.100 Sistema estructural transparente a las ondas electromagnéticas.

- **Aplicaciones en el sector de la excavación de galerías y túneles;** pozos verticales, galerías de extracción, sistemas de anclaje y/o contención de tierras, etc.

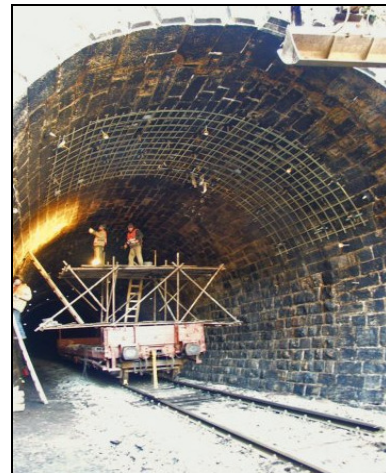
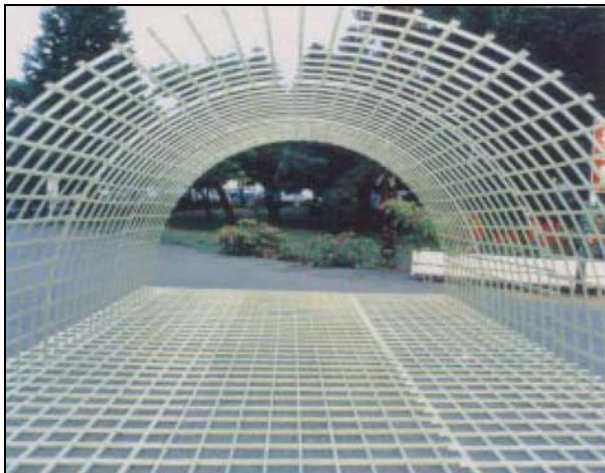


Figura 3.101 Rejilla de GFRP para armado de túnel y vista de posterior aplicación.

- **Otras aplicaciones;** como reparaciones estructurales de la madera, ver figura 3.103.



Fig. 3.102 Sistemas de anclaje/contención de tierras. Fig. 3.103 Reparación de viga de madera.

Consideraciones en proyecto:

La sustitución directa de barras redondas de acero por barras de GFRP, puede que no sea siempre posible debido a las numerosas diferencias que tienen las características mecánicas de los dos materiales.

Aunque la resistencia a la tracción de las barras de fibra de vidrio es mayor que la del acero, su módulo de elasticidad y resistencia al corte es menor, lo que limita su aplicación. Las barras de fibra de vidrio dan una respuesta elástica lineal hasta la rotura sin experimentar fluencia.

Como consecuencia a estas diferencias los coeficientes de seguridad que se adoptan en los proyectos con barras de fibra de vidrio, limitan las solicitaciones en función del valor medio de la sollicitación máxima de las barras. Estos coeficientes varían según las normas aplicadas y siempre son superiores a los utilizados en acero.

En un proyecto tradicional, donde se emplea cemento armado con barras de acero, se define la cantidad máxima de acero de la armadura, de tal manera que el acero resulte ser el elemento débil de la estructura. En dicho caso, las barras redondas de acero se alargan o se flexionan, indicando así, la inminente rotura del elemento de hormigón.

Diversamente, empleando las barras de GFRP, se calcula la cantidad mínima de barras en vez de la máxima. Si un elemento se rompe, el hormigón representa la parte más débil y cederá por compresión. El hormigón que colapsa tendrá la función de indicación de la rotura, dejando todavía, por otro lado, un margen considerable a la capacidad de tracción de la armadura de GFRP.

Otra diferencia considerable es la utilidad, más que las limitaciones de diseño en elementos reforzados con fibrobarras que en los reforzados por acero. Esto se debe a que en el diseño se toman en cuenta la deformación y el ancho de las grietas, que proporcionaran la advertencia de falla antes que la falla del concreto. En muchas situaciones, las deformaciones y el ancho de grieta controlaran el diseño.

- APLICACIÓN DE BARRAS DE FRP DE FIBRA DE VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TRANVIA DE GRANADA.

El armado se hizo íntegramente con GFRP, en las zonas de señalización y cambios de vía:

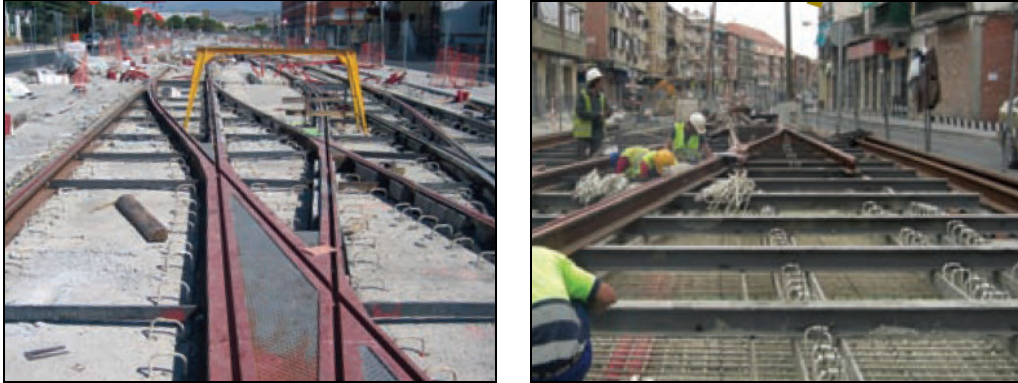


Figura 3.104. Vista del proceso de construcción. Los cercos ya están colocados en las vías.



Figura 3.105. Colocación de las barras de fibra de vidrio.

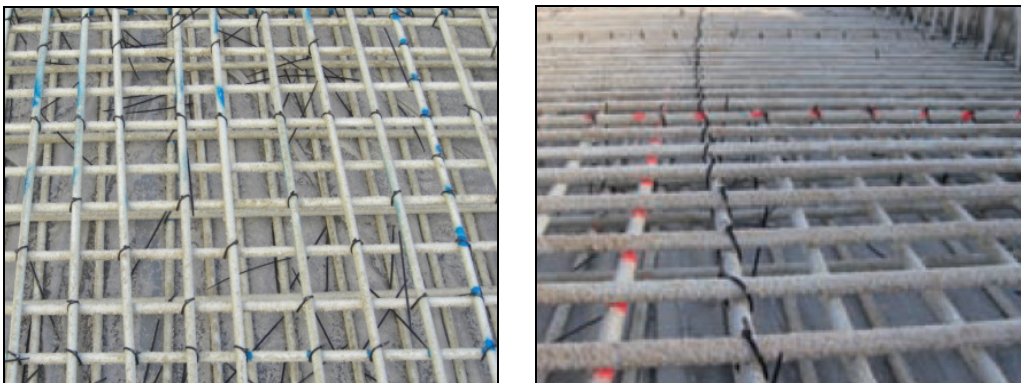


Figura 3.106. Armado colocado y sujeto para quedar inmovilizado durante el hormigonado.



Figura 3.107. Vista del armado colocado antes de hormigonar.



Figura 3.108. Vista de las vías terminadas del tranvía.

- APLICACIÓN DE MALLAS DE FRP EN LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO.

Otra aplicación es el empleo de materiales compuestos como sustituto del acero en el refuerzo de losas y pavimentaciones de hormigón armado. Gracias a las características de los materiales de FRP, los campos de aplicación aumentan.

El empleo de estas mallas de refuerzo en sustitución a un tradicional refuerzo de acero ofrece ventajas muy evidentes gracias a una grande ligereza y manejabilidad, y por lo tanto a una más veloz puesta en obra, con una mayor durabilidad de la estructura, capaz de derribar así los costes de manutención en el tiempo. Ver figuras 3.109.

Algunos campos de aplicación pueden ser: el refuerzo de estructuras de hormigón armado en entorno corrosivo expuesto a sales anti-hielo o a entorno marino, tal como en las fábricas de sustancias químicas, o bien en aquellas estructuras que solicitan transparencia a los campos magnéticos.

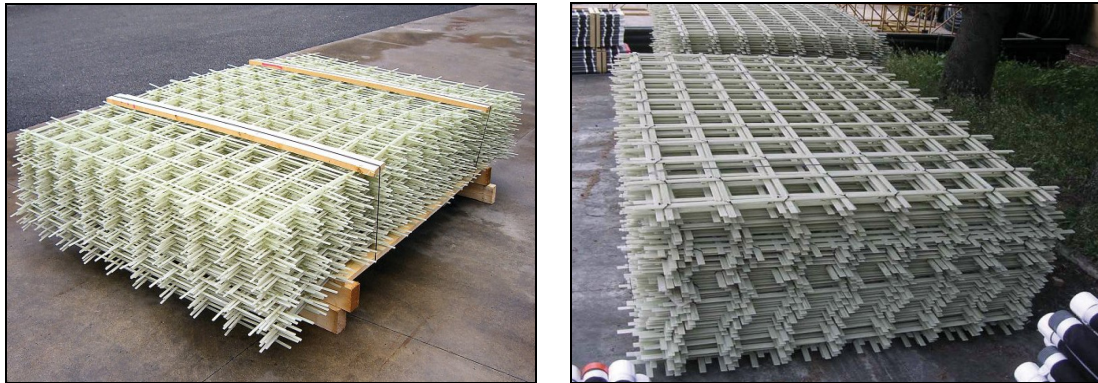


Figura 3.109. Mallas de material compuesto de GFRP.

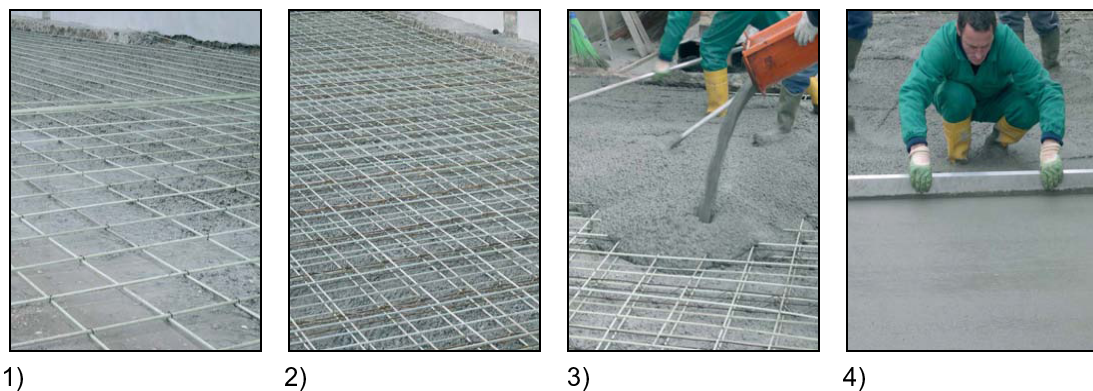


Figura 3.110 Proceso de armado con FRP de una losa y puesta del hormigón.

- OTROS ELEMENTOS Y APLICACIONES:

A diferencia de las aplicaciones anteriormente comentadas, el desarrollo de los materiales compuestos en geotecnia no ha sido tan extendido como en los casos anteriores, a pesar de que ciertas fibras han sido empleadas extensivamente en la industria de refuerzo de suelos.

De las aplicaciones más importantes en ingeniería geotécnica que han desarrollado el uso de FRP, se encuentran:

- Pilotes.
- Anclajes.
- Soil Nailing.

El empleo de FRP para el diseño y fabricación de pilotes se ha desarrollado principalmente en Estados Unidos, los cuales son empleados en ambientes agresivos, como son los recintos portuarios, donde los pilotes tradicionales sufren problemas de corrosión y degradación, ver figura 3.111.



a) De acero.



b) De hormigón.



c) De madera.

Figura 3.111 Problemas presentados en pilotes de materiales tradicionales empleados en ambientes agresivos.

Diversas empresas de diseño y fabricación de materiales compuestos han desarrollado algunas propuestas de pilotes para ser empleados en estos medios, ver figura 3.112:

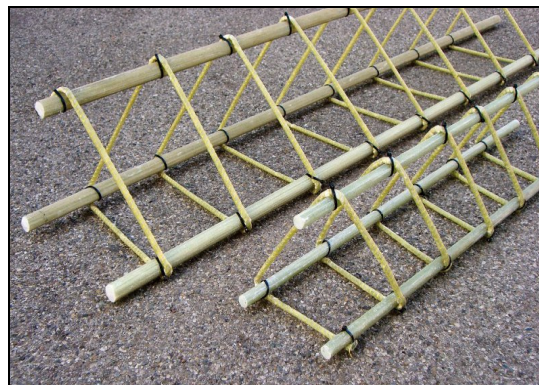


Figura 3.112 Propuestas de pilotes con armado de FRP.



Fig. 3.113. Acopio de armaduras de pilotes de FRP.



Fig. 3.114 Introducción del pilote.



Figura 3.115 Introducción de pilote de FRP.



Figura 3.116 Manipulación de pilote de FRP.

El uso de barras en aplicaciones geotécnicas, ha permitido desarrollar alternativas al empleo del acero en anclajes y “*Soil Nailing*”, que en general se ven afectados por problemas de corrosión. Sus usos han estado orientados principalmente a la estabilización de frentes de túneles, corte y taludes, así como para dar soporte a muros de contención de tierras. La técnica que se ha empleado para la fabricación de estas piezas ha sido la de pultrusión, mediante el empleo de polímeros reforzados con fibra de vidrio y/o carbono.

Tanto los anclajes diseñados en FRP, presentan una serie de beneficios en comparación a los elementos de uso tradicional, como son:

- Aumenta la durabilidad, incluyendo resistencia a la corrosión, lo que da como resultado un aumento de su vida útil y una reducción importante en la realización de mantenimiento.
- Presentan un menor peso, lo que da como resultado una mayor facilidad en el transporte y montaje de las piezas.
- Presentan una mayor resistencia a la tracción.

Las barras para su aplicación en túneles presentan ventajas significativas para la demolición del frente de excavación, principalmente cuando los túneles son construidos en macizos rocosos. Dado que las barras de FRP no soportan adecuadamente los esfuerzos laterales, al momento de la excavación la máquina puede romper con gran facilidad el terreno del frente.

En cuanto a su uso en la aplicación “*Soil Nailing*”, se presenta como una alternativa muy ventajosa sobre las barras de acero, por su alta resistencia a la corrosión y a la tracción. El uso de “*Soil Nailing*” fabricados con GFRP ha sido una técnica pionera desarrollada en Alemania, mientras que en Japón, a partir de 1996 se ha producido un importante aumento del uso de FRP en aplicaciones de ingeniería, y que típicamente muchas de estas aplicaciones han sido desarrolladas como técnicas de refuerzo, entre las que destacan anclajes al terreno y empleo en estructuras subterráneas.

El sistema de clavos o “*Soil Nailing*” es un método de refuerzo in-situ utilizando refuerzos inyectados capaces de movilizar resistencia a tensión en el caso de ocurrencia de un movimiento. El término “*Nail*” se utiliza en todos los idiomas y la traducción al español “clavo” tiene una utilización menor.

Se diferencian de los pilotes en cuanto que los clavos no resisten cargas laterales a flexión, y de los anclajes pre-tensionados, en que son pasivos, no se pre-tensionan. Los clavos requieren espaciamientos menores que los anclajes y actúan como un refuerzo del suelo aumentando la resistencia interna del macizo al cortante.

- APLICACIÓN DE REFUERZO NO METÁLICO (SOFT-EYE TECHNIQUE)

El número de túneles excavados utilizando tuneladoras es creciente en los últimos 10 años. Una de las partes más difíciles del proceso es afrontar el cruce de las estructuras de hormigón armado de los pozos de lanzamiento y recuperación con las estaciones construidas a lo largo del trazado de la tuneladora. Muy a menudo los pozos de lanzamiento y recuperación, contruidos a una gran profundidad, tienen un diámetro muy grande y normalmente son reforzados con enormes barras de hierro, de modo que puedan soportar las fuertes presiones debidas al terreno y/o al agua.

El cruce de estos muros por parte de la tuneladora es casi imposible porque perjudica el escudo, y tiene que ser hecho manualmente, rompiendo el muro y cortando las barras de hierro del interior. Esta operación solicita mucho tiempo y puede ser peligrosa, sobre todo en presencia de agua. Éste es el motivo por el que hoy la técnica de refuerzo que utiliza barras en fibra de vidrio, "Soft-eye Technique", es cada vez más utilizada.

La aplicación de esta técnica consiste, en reemplazar las barras y los estribos de refuerzo de hierro dentro de la estructura de hormigón, por barras y estribos en fibra de vidrio, que tienen una alta resistencia a la tracción pero una baja resistencia a corte, permitiendo a la tuneladora pasar fácilmente por la sección de muro reforzado, sin perjudicar el escudo de la máquina. Ver secuencia en figura 3.117.



Figura 3.117 Proceso del paso de la tuneladora por la sección de muro reforzado.

Normalmente, una sección (jaula) del muro correspondiente a las dimensiones del escudo de la tuneladora, es reforzada usando barras y estribos en fibra de vidrio, dejando las secciones superiores e inferiores de la jaula contruidas con estribos y barras de hierro. Las dos secciones de hierro están unidas a la jaula en fibra de vidrio, solapando barras en acero y fibra de vidrio, ver figuras 3.118 y 3.119.



Figura 3.118



Figura 3.119

La técnica del "Soft-Eye" es comúnmente usada en muchos proyectos en todo el mundo y utilizada no sólo por pozos de lanzamiento y recuperación, también en vigas semicirculares construidas en pozos de gran diámetro, ver figuras 3.120 y 3.121.



Figura 3.120



Figura 3.121

- Existen otros elementos de FRP, son los conectores a cortante en pavimentación vial. En el hormigón, las juntas de dilatación de pavimentación son necesarias para controlar la propagación de las grietas causadas por la retracción del hormigón y la expansión térmica. Las juntas crean artificialmente líneas de debilidad en el hormigón y los conectores de fibra de vidrio devuelven resistencia al corte a lo largo de las juntas. Ver figura 3.122.



Figura 3.39. Detalle de conector de corte sintético y cantos rodados.

Otros elementos, los conectores sintéticos por corte térmico, para la elaboración de elementos prefabricados de hormigón. Ver figura 3.123.

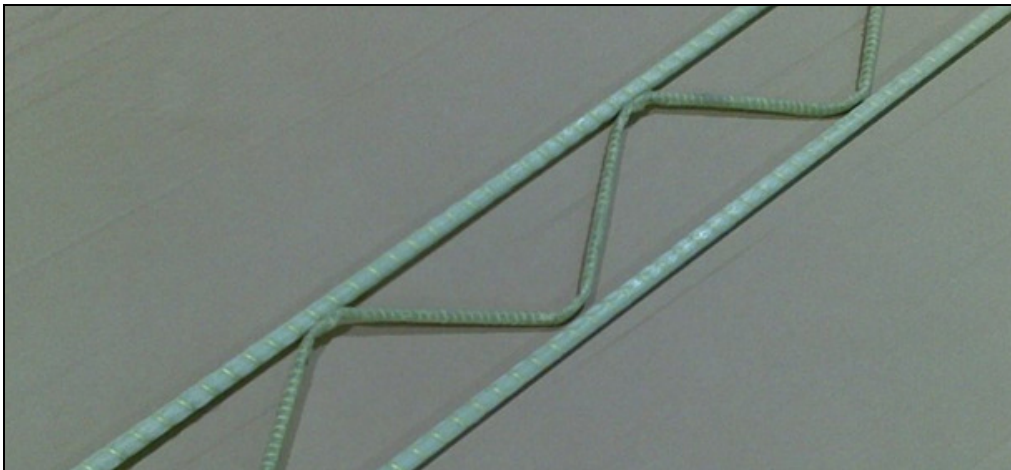


Figura 3.123. Detalle de conector de FRP para hormigón.

- PERFILES PULTRUIDOS:

A parte de barras, mallas u otros elementos de FRP, también es importantísimo el empleo de perfiles de pultrusión realizados en materiales compuestos y cuyas aplicaciones más importantes destacan en la ingeniería industrial, además de la civil, en el caso de infraestructuras.

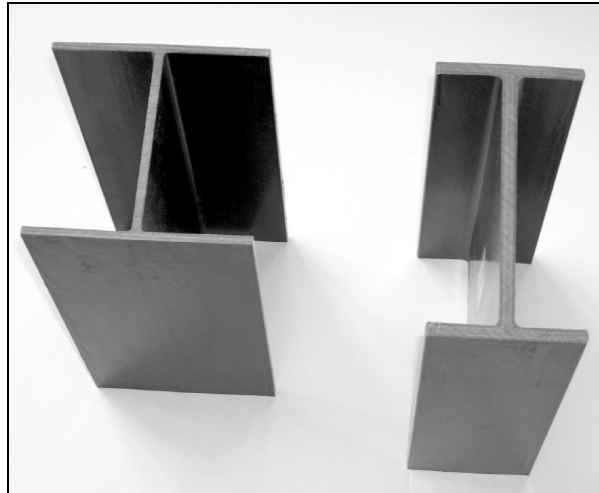


Figura 3.124 Perfiles pultrusionados de FRP, tipología EHE e IPN.

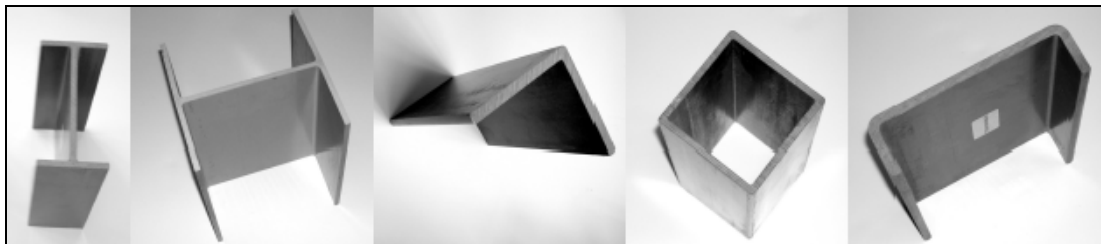


Figura 3.125 Perfiles y elementos convencionales de pultrusión: angulares, tubo, canal.



Fig. 3.126 Perfiles de FRP de distintos colores.

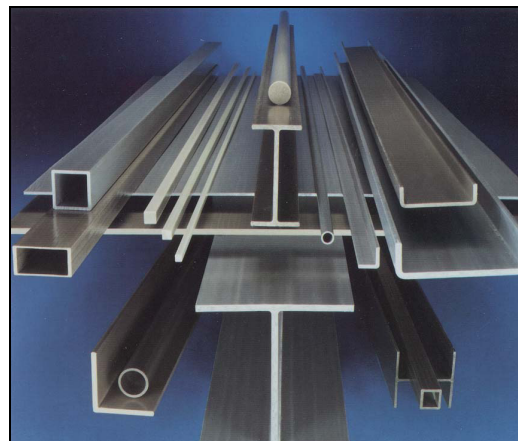


Fig. 3.127 Perfiles de FRP imitación al acero.

ESTRUCTURA DE NUEVO EDIFICIO MEDIANTE PERFILES DE FIBRA DE VIDRIO, PUERTO MADERO, EN BUENOS AIRES.

En el ejemplo siguiente, se muestra el uso de perfiles pultrusionados realizados en materiales compuestos, para la estructura y cobertura de un edificio industrial, situado en Buenos aires. Las vigas estructurales y los perfiles “gota” que soportan, además de las uniones mediante bulones, fueron hechas de materiales plásticos reforzados con fibra de vidrio, que fueron especialmente diseñadas y fabricadas por la empresa “CME Argentina S.A.”.



Figura 3.128 Vigas de FRP del sistema estructural.

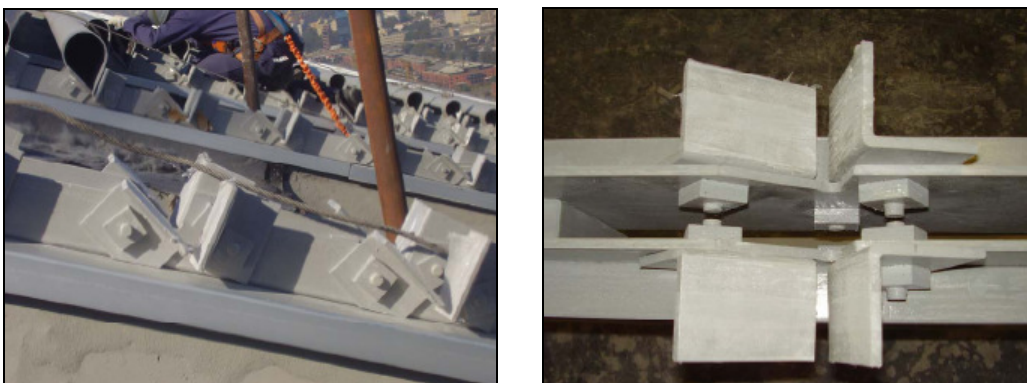


Figura 3.129 Vista de los soportes para recibir los “perfiles gota”



Fig. 3.130 Vista del perfil “gota”.

Fig. 3.131 Vista de los bulones de unión.

Las siguientes fotografías ya muestran el proceso de montaje con los componentes estructurales de FRP:



Figura 3.132 Vista del montaje.



Figura 3.133 Vista general de la estructura.

B) - CABLES Y OTROS SISTEMAS ESTRUCTURALES PARA HORMIGÓN PRETENSADO:

Alrededor de 1980 se desarrollaron los tendones de FRP para su uso en hormigón pretensado, motivado por el deseo de reducir la corrosión en este tipo de elementos, aunque no ha sido un producto muy comercializado dados sus altos precios y porque requieren de dispositivos especiales de anclaje. La baja resistencia transversal de los tendones de FRP, provoca una dificultad técnica.

Los Japoneses han desarrollado un sistema de clasificación de los cables de pretensado con materiales FRP basado en el tipo de fibra usado. Una tira rectangular de fibra de aramida llamada ARAPREE, fue desarrollada en Holanda, y un tendón de fibra de vidrio en una externa vaina de polímero llamado POLYSTAL, fue desarrollado en Alemania. Estos productos se utilizan en una serie de puentes proyectos de demostración en Europa.

Durante la década de 1980, en Japón, se llevó a cabo el desarrollo de FRP para armaduras de hormigón, que se centró principalmente en los tendones, muchos de aramida y diferentes productos de fibra de carbono se desarrollaron posteriormente, ver figura 3.144.

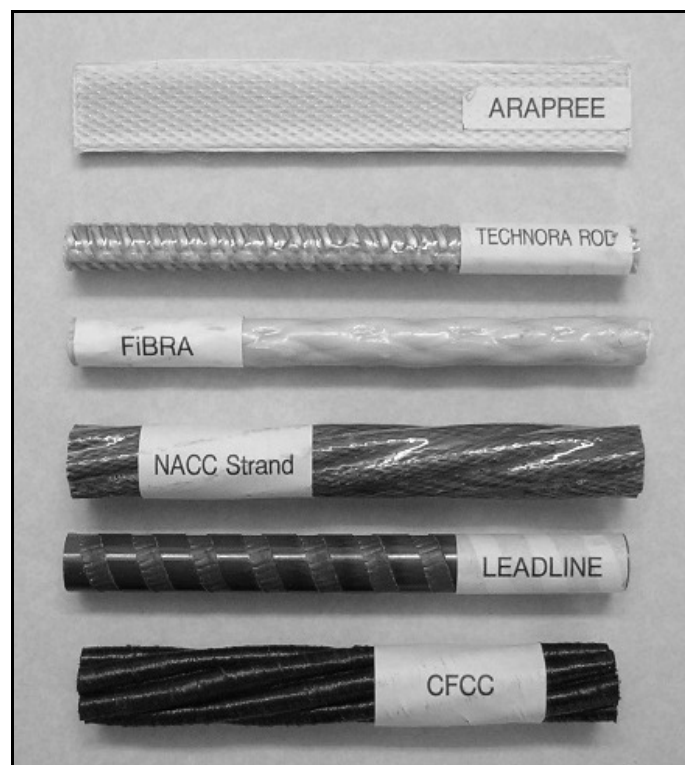


Figura 3.144 Productos de FRP para pretensado producidos en Japón entre 1980-1990.

Hoy ya es una realidad los elementos de materiales compuestos para pretensado y anclaje de estructuras, ver figura 3.145. Los materiales compuestos que se utilizan son de fibra de aramida (AFRP) y principalmente de carbono (CFRP), reforzados con plástico.

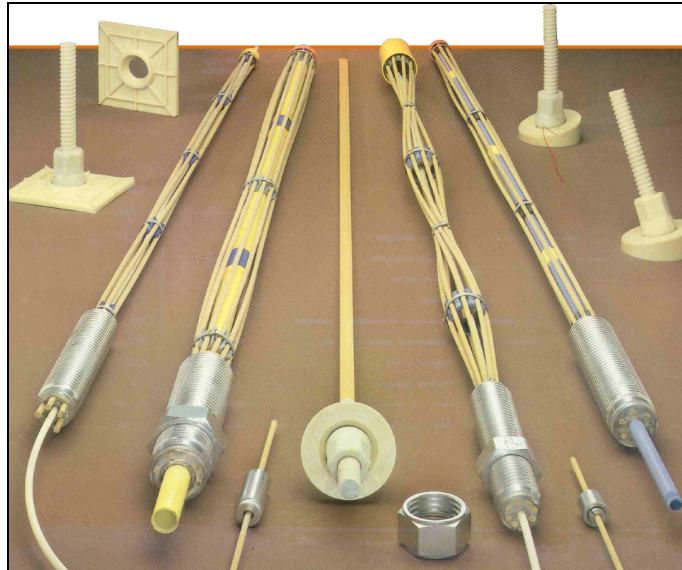


Figura 3.145 Diferentes elementos para pretensado y anclaje realizados en M.C.

La fibra de carbono puede ser considerada como la más válida alternativa al acero en este campo de la estabilización permanente de taludes, anclajes y refuerzos de estructuras construidas en proximidad al mar. La fibra de carbono es un material compuesto con características particulares:

- Alta resistencia a la tracción.
- Resistencia a la corrosión.
- Tendones que no requieren protección anticorrosión.
- Anclajes de tamaño compacto. Ver figura 3.146.
- Bajo peso, reduce los costes de transporte, y resulta más fácil su manejo.
- Alta flexibilidad.
- No son afectados electromagnéticamente.
- Las barras tienen una capa superficial de arena de cuarzo, que aumenta las fuerzas de fricción con la roca circundante y la lechada, ver figura 3.147.

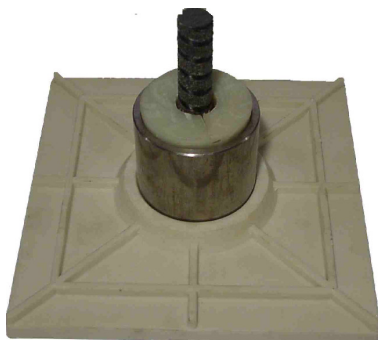


Figura 3.146 Detalle de anclaje compacto.

Figura 3.147 Detalle de capa superficial de la barra.

La alta resistencia a tracción del carbono en relación al peso permite producir barras con un diámetro menor con respecto a aquellas de acero, mientras su ligereza lo hace fácil de manejar en obra, reduciendo así los tiempos y los costes de instalación.

La protección contra la corrosión, es la propiedad más importante que ofrece la aparición de estos materiales para garantizar la larga vida de los anclajes, ya que los suelos para los que son utilizados sufren de tener cloruros, cambios estacionales del agua, ambientes marinos, en definitiva de ser terrenos agresivos.

Normalmente, en las estructuras ancladas se colocan varillas o tendones, generalmente de acero, dentro de perforaciones realizadas con taladro, se inyectan con un cemento, y luego se tensionan.

La mayoría de los sistemas de anclaje construidos en el pasado no han tenido problemas importantes de corrosión, aunque la mayoría de los problemas ocurren en los dos metros más cercanos a la cabeza del ancla, que es la parte expuesta del tendón cuando éste no está cubierto de lechada.



Figura 3.148. Detalle de elemento para pretensado en materiales compuestos.



Figura 3.149 Detalle de la barra recubierta de capa de arena de cuarzo.

Todas las barras y elementos de este tipo de material pueden ser provistos con diferentes sistemas de bloqueo. Ofreciendo una excelente resistencia, que gracias a la fatiga de la fibra de carbono, es posible realizar tirantes pre-esforzados. Ver las siguientes figuras:



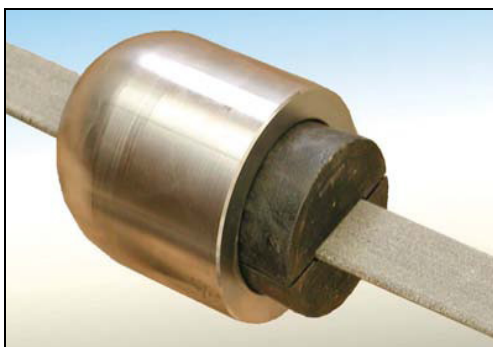
Figura 3.150 Manejo de barra para aplicación del pretensado.



Figura 3.151 Detalle del separador.



Figura 3.152 Sistema para pretensado.



- Sistema con pletina.



- Sistema con barra.

Figura 3.153. Diferentes elementos para pretensado.

- EJEMPLO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD:



Figura 3.154 Colocación de las barras de FRP en el terreno.



Figura 3.155 Barra anclada al terreno.



Figura 3.156 Tensionado de la barra.



Figura 3.157 Vista general de terreno anclado y detalle del elemento.

- APLICACIÓN EN PANTALLAS:



Figura 3.158 Vistas de pantallas ancladas con sistemas de CFR.



Figura 3.159 Vista general de pantalla anclada y detalle de elementos de anclaje de FRP.

C) - ENCOFRADOS DE FRP PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.

Otra de las aplicaciones que se le da a este tipo de materiales compuestos, es la de encofrados o cimbras. Éstos actúan para reforzar el hormigón después de que se haya endurecido o simplemente como molde para hormigonado.

En la figura 3.160, se muestra el puente de Waupun, en Wisconsin (EEUU), construido en el año 2003, utilizando FRP como material casi exclusivamente, con la única excepción del hormigón. La aplicabilidad fue la de un encofrado que forma un perfil acanalado y es usado con el fin de reemplazar el tradicional encofrado metálico susceptible de corrosión. Este es usado como molde para ser hormigonado y después sirviendo como refuerzo cuando el hormigón ha endurecido.



Figura 3.160. Tablero de puente con encofrado de FRP.



Figura 3.161 Colocación de los paneles de encofrado.

Los encofrados pueden ser reutilizables o perdidos.

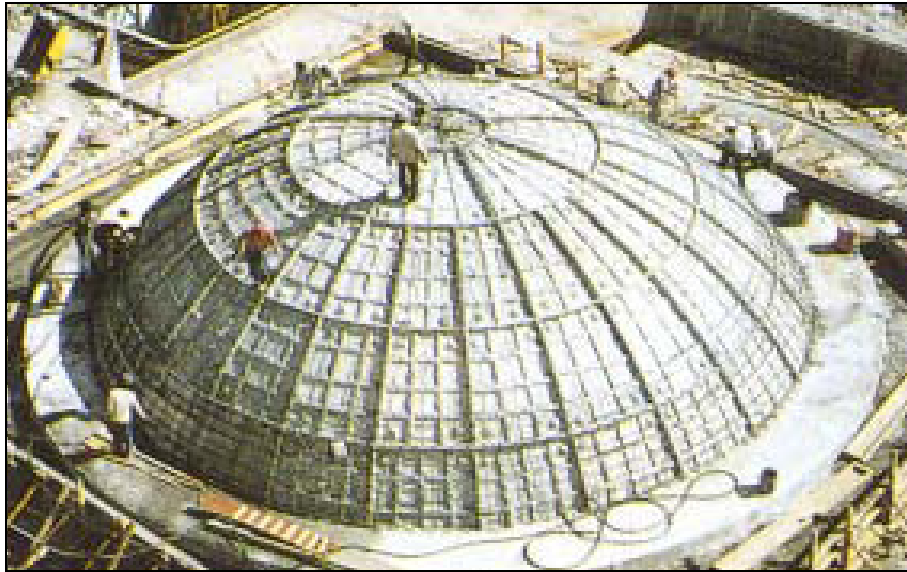


Figura 3.162. Encofrado perdido para bóveda realizado con GFRC.



Figura 3.163 Encofrado perdido de GFRC para forjado en tablero de puente.



Figura 3.164

- OTROS SISTEMAS: EL CONCEPTO CSS (COMPOSITE SHELL SYSTEM):

Otra aplicación menos conocida son los tubos de FRP, generalmente de fibra de carbono, rellenos de hormigón, ver figuras 3.165 y 3.166. Se trata de un sistema en el que los tubos de CFRP, se rellenan de hormigón y se utilizan para producir las vigas de la superestructura de un puente, por ejemplo en la autopista de California, Einde Van Den et al., 2003.



Figura 3.165 Tubo de CFRP, antes de ser relleno.



Figura 3.166. Tubos de FRP rellenos de hormigón.

3.2.4.2 - REHABILITACIÓN, RESTAURACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES.

Tanto en España como en numerosos países, se están abordando problemas de reparaciones y restauraciones con nuevos materiales, dada la facilidad y sencillez de colocación de estos.

Los polímeros reforzados con fibra de carbono parecen, de los nuevos materiales, los más idóneos para su uso en refuerzo o rehabilitación de estructuras. Cuando se habla de refuerzo estructural con fibra de carbono, nos referimos al empleo de elementos de fibra de carbono de modo similar al de las barras de acero en una estructura. Normalmente se utilizan tejidos de esta fibra, cuya disposición es unidireccional, pero existen configuraciones de tipo bidireccional.

Es conviene tener en cuenta el hecho de que los laminados de fibra de carbono presentan unas altas características mecánicas muy superiores a las del hormigón y el acero, por lo que en la mayoría de los casos el éxito del refuerzo viene determinado más por el estado y preparación del elemento soporte, que por el propio carbono. Existen tres tipos de actuaciones:

1. Reparación; en la reparación se actúa para adaptar una estructura ya existente y que ha sido deteriorada, a ponerla de nuevo en su capacidad de carga para la que fue diseñada. La reparación es necesaria cuando la estructura original se ha deteriorado debido a efectos ambientales, como la corrosión del acero en las estructuras de hormigón, o cuando la estructura original ha sufrido daños en el servicio o no se construyó según el diseño original.

2. Rehabilitación: este tipo de actuación tiene por objeto devolver la función estructural del elemento a rehabilitar, teniendo un papel fundamental la estética.

3. Refuerzo: se actúa cuando en una estructura se incrementan las cargas para la que fue diseñada originalmente, adaptar los actuales códigos de construcción, o para mejorar el rendimiento de la estructura cuando el impacto de carga ha crecido en los últimos tiempos.

El conjunto de estas actuaciones son conocidas como aplicaciones de adaptación, al ser utilizadas en estructuras ya existentes y no en la construcción de nuevas estructuras.

Su uso viene dado por los siguientes factores:

- Incremento de carga, debido a cambios de uso en la estructura, incremento de la capacidad resistente, instalación de maquinaria pesada, etc.
- Daños en elementos estructurales, por seísmos, fuego, deterioro de materiales, corrosión de armaduras, impacto de vehículos, etc.
- Mejora de las condiciones de servicio; por la disminución en las deformaciones y flechas, por la reducción en la tensión de las armaduras, disminución de la abertura de fisuración, disminución de la fatiga, etc.
- Cambios del sistema estructural, como apertura de huecos en forjados, eliminación de pilares o muros de carga, etc.
- Adecuación de normativas, como seísmos o cambios en la filosofía del diseño.

- Defectos del proyecto o de la ejecución, como armadura insuficiente o inadecuada, mala calidad de los materiales, dimensiones insuficientes o mala disposición de los elementos estructurales.

Como se puede observar (figura 3.167), existen variedad de actuaciones:

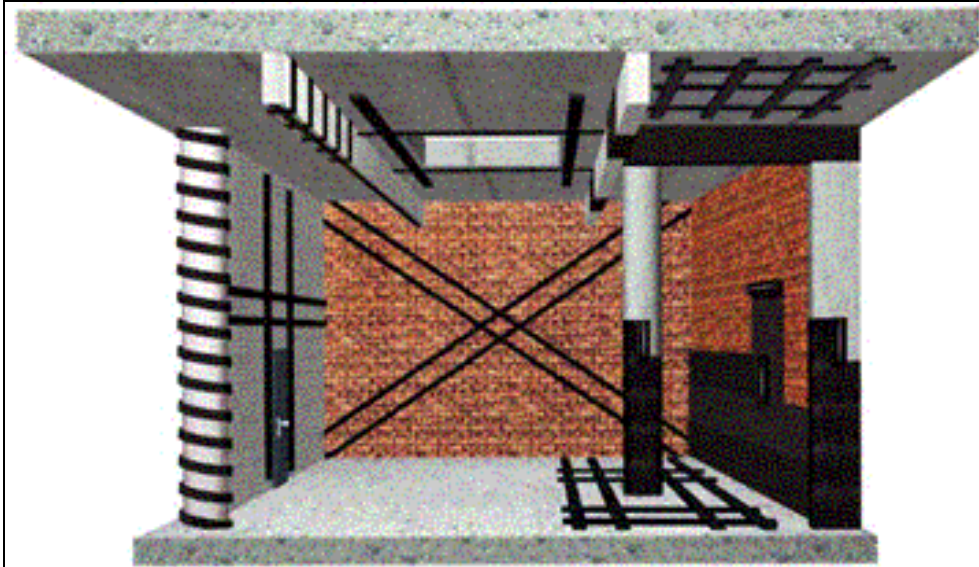


Figura 3.167. Esquema de las distintas actuaciones de refuerzo estructural.

En la actualidad, se está extendiendo mucho el uso de laminados con fibra de carbono de alta resistencia a tracción, para refuerzos de elementos estructurales.

En el proceso de fabricación del laminado, se incorpora la fibra de carbono en una matriz epoxi, mediante un procedimiento completamente industrializado y de estricto control de calidad. Esto permite garantizar las propiedades resistentes de los refuerzos realizados mediante el módulo elástico, la resistencia a rotura y la elongación última.

El sistema de aplicación consiste en la adhesión superficial de estos laminados y posteriormente la aplicación de resina epoxi como adhesivo estructural, ver figuras 3.168 y 3.169. Mediante la adhesión de este material a la superficie de elementos con comportamiento a tracción, se consigue incrementar el comportamiento de los elementos flexionados.



Fig. 3.168 Laminado de fibra de carbono.



Fig.3.169 Resina para la impregnación.

La fiabilidad de una estructura reforzada con materiales compuestos, depende del tipo de material compuesto empleado, la sollicitación de trabajo, condiciones ambientales a las que se verá sometida, etc., requiriéndose un estudio particular y riguroso para cada tipo de aplicación.

Dentro de lo que es el refuerzo y la reparación de estructuras de hormigón armado con sistemas a base de materiales compuestos, el refuerzo a flexión y a cortante son los dos casos de aplicación más extendidos, aunque otros como el confinamiento de pilares con encamisados de estos laminados, están adquiriendo cada vez más fuerza. Los tres tipos de aplicaciones más usuales, los siguientes:

- Refuerzo a flexión de estructuras de hormigón armado.
- Refuerzo a cortante de estructuras de hormigón armado:
- Confinamiento de pilares de hormigón armado:
- Refuerzo de otros sistemas constructivos.

En todos ellos, la unión del refuerzo a la estructura se realiza mediante pegado o adhesión, que es la forma más habitual, en el caso de fibras o telas preimpregnadas, y seleccionando el adhesivo adecuado (ver tabla 3.1). Dado que los materiales para la construcción son de naturaleza muy variada; hormigón, piedra, metales, etc., existen una diversidad de adhesivos orientados al modo más apropiado, técnica y económicamente.

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE ADHERENCIA		
SISTEMAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
EPOXI	Alta adhesión final. Durabilidad. Cualquier espesor. Contracción del 2%.	Preparación de superficies. Vida de la mezcla. Ciclos de curado. Dosificación y mezcla de los componentes.
POLIURETANOS	Flexibilidad. Mejor para plásticos.	Menor adhesión final que los epoxis. Peor para cristal y metales.
ACRÍLICOS	Buena adhesión final. Fácil aplicación. Curado rápido. Preparación de la superficie.	Espesor de la capa. Contracción del 7%. Durabilidad.

Tabla 3.1

REFUERZO A FLEXIÓN DE ESTRUCTURAS DE H.A.

En el siguiente esquema se observa la comparativa de todos los métodos de refuerzo a flexión:

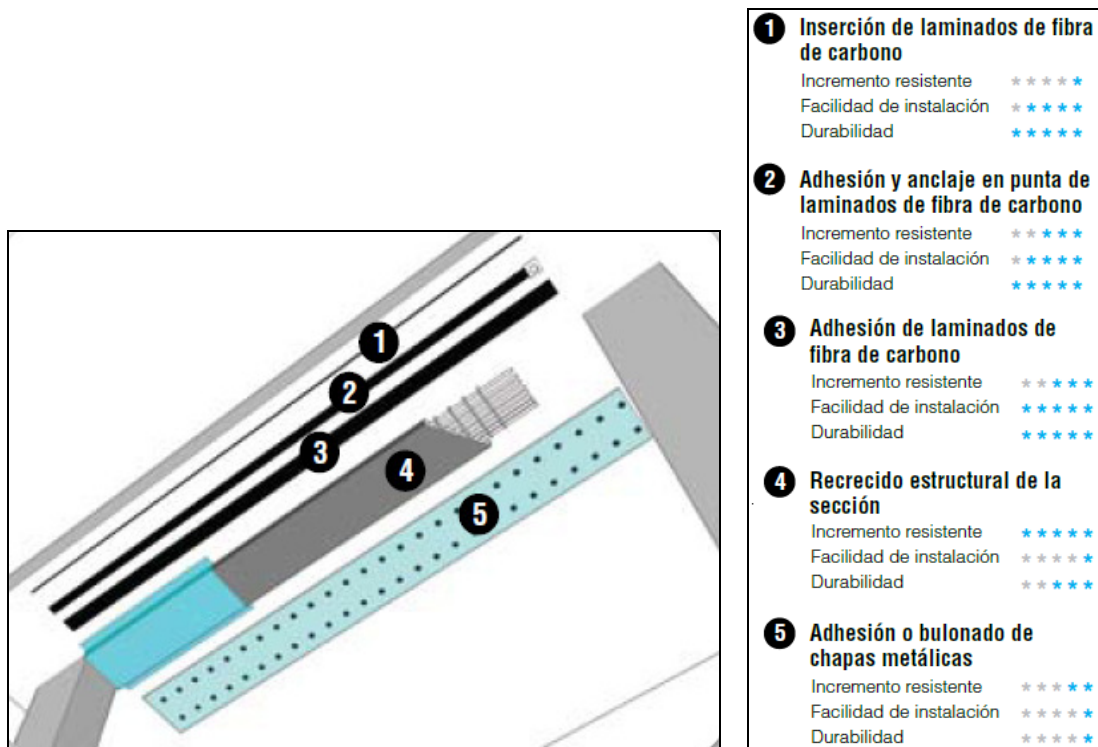


Figura 3.170 Esquema de los distintos métodos de refuerzo a flexión.

En la figura anterior se observa como los refuerzos a base de materiales de fibra de carbono, tanto por adhesión como por inserción del laminado, obtienen unos resultados en durabilidad y facilidad de instalación, muy superiores al resto de técnicas tradicionales, que compensa el incremento resistente, que sigue siendo importante.

La aplicación del refuerzo a flexión consiste en la colocación de las láminas de fibra de carbono en la cara traccionada del elemento a reforzar, habitualmente la cara inferior. El refuerzo se coloca siempre buscando la simetría de la sección y debe ser continuo en toda su longitud.

- **Aplicaciones:**

REFUERZO ESTRUCTURAL DE FORJADOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN PARKING, SISTEMA “CUT IN”.

Durante la construcción de un aparcamiento subterráneo en Cádiz, se variaron las condiciones del proyecto, sustituyendo una zona peatonal, por una ajardinada. Esto significó un incremento de las cargas muertas sobre el forjado de cubierta del aparcamiento, por lo que resultó necesario el diseño de un sistema de refuerzo para la estructura.

Tras barajarse varias hipótesis y ver que se trataba de un forjado bidireccional, que requería en algunos casos refuerzos en un mismo punto perpendiculares entre sí, se optó por este sistema de refuerzo, debido al bajo espesor de los laminados de fibra de carbono y la fácil ejecución de las cruces.

La técnica consistió principalmente en el aporte de cuantía resistente de fibra de carbono en los nervios del forjado en los que las tracciones del nuevo diseño, superaban a las de proyecto. A partir de las nuevas tracciones obtenidas, se calcularon las secciones necesarias de laminado de carbono.

En algunos de los casos, las tensiones que debía soportar el refuerzo eran inferiores a las soportables por el laminado “estándar”, por lo que se utilizó el sistema “cut in”, cuya limitación es menor, en cuanto que la superficie de adhesión del refuerzo al hormigón es mayor.

El sistema “cut in”, se basa en la inserción de material compuesto en el interior del elemento a reforzar. Se realizan cortes en el hormigón, en la dirección de las tracciones y a continuación, se embeben laminados de pequeña sección dentro de las ranuras practicadas, rellenando el espacio existente con resina epoxi de altas resistencias. Ver figuras 3.171 y 3.172.

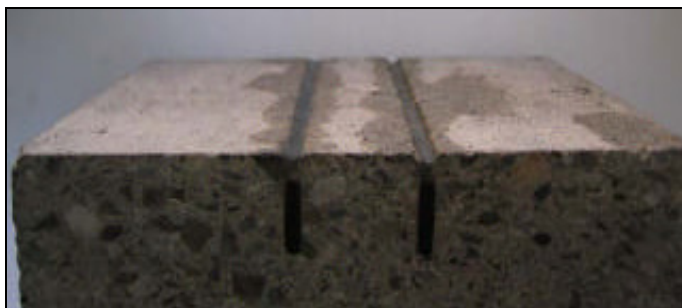


Fig. 3.171 Cortes para depositar los laminados.



Fig. 3.172 Detalle del laminado embebido.

Para la colocación de los refuerzos por adhesión superficial, sistema “estándar”, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Preparación de la superficie mediante lijado con disco de diamante.
- Aplicación de la imprimación del sistema en el soporte, ver figura 3.173.
- Limpieza del laminado y de la superficie de hormigón.
- Aplicación del adhesivo sobre el laminado y el soporte, ver figuras 3.174 y 3.175.
- Ubicación de los laminados y presión contra el soporte, ver figuras 3.176 y 3.177.



Figura 3.173



Figura 3.174. Imprimación del soporte.



Figura 3.175



Figuras 3.176



Figura 3.177



Figura 3.178. Resultado final del proceso.

Para la colocación de laminados embebidos en el hormigón, sistema “Cut in”, se realizaron los siguientes pasos:

- Replantear las zonas que se iban a reforzar.
- Realización de cortes en el hormigón mediante sierra de disco, ver figuras 3.179 y 3.180.
- Limpieza del interior del corte con aire a presión, ver figura 3.181.
- Inserción de la fibra de carbono en el interior de los cortes, ver figura 3.182.
- Relleno de los cortes con resina epoxi de elevada fluidez, ver figura 3.183.



Figura 3.179



Figura 3.180



Figura 3.181



Figura 3.182 Cruce de laminado.



Figura 3.183. Relleno del corte con resina epoxi.

- REFUERZO A FLEXIÓN DE UN PUENTE URBANO, EN SANTA COLOMA DE GRAMANET (BARCELONA).

El puente se trata de un paso superior, con una estructura de 15m de luz, constituida por vigas prefabricadas pretensadas sobre las que se apoya una losa de hormigón armado de 25cm de espesor. La infraestructura sufrió un impacto de vehículo con exceso de galibo sobre varias vigas en su parte inferior, dañando severamente el hormigón del ala inferior y provocando la rotura de varios cordones de acero activo, por lo que la capacidad resistente a flexión se vio reducida.

Se propuso un refuerzo con laminados de fibra de carbono, dada la ligereza, rapidez y facilidad constructiva que se necesitaba. La cuantía de refuerzo consistió en 6 bandas, de 100mm de ancho y 1,4mm de espesor.

En primer lugar se procedió a un saneo de la zona afectada mediante chorreado de arena, retirada de partes sueltas y disgregadas, para a continuación realizar la regeneración de volúmenes de hormigón mediante mortero sin retracción y alta resistencia inicial. Después se aplicó un puente de unión sobre hormigón y también pasivante, en las armaduras.

Una vez limpia y preparada la superficie, se aplicó la resina, tanto en el soporte como en la cara rugosa del laminado de fibra de carbono, y se fijó mediante la presión de un rodillo. Por último, por condicionantes estéticos del carácter urbano en el que se enmarca la estructura, se procedió al pintado de la zona con objeto de disimular el laminado, el resultado lo vemos en la figura 3.184.



Figura 3.184 Reparación del puente ya terminada.

- REFUERZO DE PUENTE DEL “DRAGÓ”, EN LA AVENIDA MERIDIANA, BARCELONA.

Este es un caso similar al anterior, la única diferencia es que constituye la primera aplicación de estos materiales en España. Su elección, frente a otras alternativas convencionales de refuerzo, vino dada porque se requerían entre 2-3 días la interrupción del tráfico.

El puente está constituido por dos tableros de vigas de canto constante. El esquema corresponde con el de un tablero continuo biapoyado, con dos tramos de luz de 12m. Las vigas que conforman el tablero son de hormigón armado y la sección transversal rectangular, conectadas por un forjado de compresión de 20cm de espesor.

La viga de borde del tablero sufrió un impacto de un vehículo con exceso de gálibo. Como consecuencia del accidente, la totalidad de la armadura resistente a flexión de la viga de borde en el centro del vano, resultó seccionada (figuras 3.185 y 3.186).



Figura 3.185 Impacto visible en la viga de borde del tablero.



Figura 3.186 Detalle de la viga a reforzar.

Por razones de seguridad estructural y de adecuado comportamiento en servicio, el puente debía ser reforzado con urgencia y para la ejecución del refuerzo se precisó el corte de uno de los carriles de la calzada, ver figura 3.187.



Figura 3.187 Restricción de un carril para realizar trabajos sobre calzada.

Para el refuerzo del puente, se emplearon cinco láminas de materiales compuestos con fibra de carbono de 50mm de anchura y 1,2mm de espesor. El orden de los trabajos efectuados se ejecutó de la siguiente forma:

- Preparación de la superficie de forma adecuada para la restitución de las zonas dañadas y para la ejecución del refuerzo.
- Restitución de zonas dañadas de la estructura, tal como se encontraban antes del accidente.
- Refuerzo de la estructura de modo que su capacidad portante se adecue a los requerimientos de la normativa vigente. Esta fase, a su vez se subdivide en las siguientes operaciones:
 - Aplicación mediante espátula del adhesivo epoxídico específico sobre la superficie de hormigón que recibirá las láminas de materiales compuestos (figura 3.188).
 - Aplicación de las láminas de materiales compuestos, presionándolas mediante rodillo sobre el adhesivo epoxídico, hasta que éste rebose por ambos lados de la lámina, eliminando posteriormente el adhesivo sobrante (figura 3.189).
 - Se pintaron las láminas de un color adecuado para hacer imperceptible su presencia.



Figura 3.188 Realizando trabajos de reparación.



Figura 3.189 Refuerzo de materiales compuestos ya colocados antes de pintar.

- REFUERZO EN PUENTE DE ACCESO A LA ISLA DE TORALLA, VIGO:

EL puente de la Isla de Toralla, situado en la ría de Vigo, se compone de una estructura de 19 vanos, de 15 m. de luz cada vano, y la sección transversal del tablero, consiste en 7 vigas prefabricadas pretensadas con una losa de compresión "in situ".

El puente se construye hace unos 30 años y ha estado sometido a las agresivas condiciones de un ambiente marino, como es el de la zona. Durante este período se produce un fuerte proceso de corrosión de los alambres de pretensado, principalmente de los situados en la parte inferior. Esta corrosión provoca la expulsión del hormigón de recubrimiento de casi todas las vigas, quedando los alambres al descubierto. El proceso se ha acelerado en los elementos expuestos a la intemperie y algunos elementos ya aparecen colgando y seccionados. La propiedad decidió entonces, que era necesario efectuar una serie de trabajos en el puente.

Los trabajos a realizar son:

- Reparar las partes deterioradas, regenerando las zonas donde se ha perdido el hormigón de recubrimiento, previa limpieza del óxido formado en los cables.
- Reforzar la estructura debilitada como consecuencia de las pérdidas de la armadura, devolviendo la estructura a unas buenas condiciones de seguridad.
- Proteger la estructura contra las difíciles condiciones ambientales existentes, con objeto de que no se reproduzcan los daños nuevamente.

Toda la secuencia de ejecución de los trabajos, se realiza completa para cada uno de los vanos y después se pasaba al siguiente, siendo la siguiente:

- Colocación de plataforma de trabajo, realizada con perfiles y maderas.
- Eliminación de las partes de hormigón que estuvieran sueltas o mal adheridas, mediante piqueta y de forma manual.
- Limpieza de la superficie del hormigón y eliminación del óxido de los cables mediante chorro de agua.
- Pasivación de las armaduras por medio de dos capas de lechada pasivante. La aplicación se realiza mediante proyección mecánica. Esta capa sirve además como puente de adherencia para la posterior aplicación del mortero.
- Regeneración del hormigón de recubrimiento mediante la aplicación de una capa de 2 cm. de mortero cementoso, mejorado con resinas y fibras sintéticas. La aplicación se hace con máquina de proyección, consiguiéndose una mejor calidad de terminación.
- Refuerzo de las vigas mediante el pegado de *laminados de fibra de carbono*. El número de laminados en cada viga varió, dependiendo de la situación de los alambres de cada viga, figura 3.190.

- Protección de las vigas contra la corrosión por cloruros mediante la aplicación en toda la superficie de inhibidores de corrosión en forma de impregnación. La aplicación se hace mediante proyección con pistola “air-less”.
- Protección anti carbonatación del hormigón mediante la aplicación de dos capas de pintura acrílica elástica.



Figura 3.190 Vista inferior del refuerzo de laminados aplicado en las vigas.

- REPARACIÓN DE FORJADO EN GIJÓN (OBRA NUEVA):

En este caso se estaba realizando un edificio de viviendas de nueva obra, en un barrio de Gijón. En el proyecto se especifica que los forjados eran de viguetas, con bovedillas y una capa de compresión, todo ello apoyado en unas jácenas de hormigón armado. Se prescribía en el proyecto, que el hormigón debía tener una resistencia característica determinada (20 MPa).

En una parte de la obra, se hormigonó un forjado, cuya resistencia real del hormigón que se obtuvo fue inferior (15,2 MPa). Se hizo un re cálculo con esta resistencia característica y se vio que la seguridad a flexión de vigas y viguetas era insuficiente. Por lo que se procedió a realizar un refuerzo.

La solución fue la utilización de *laminados de fibras de carbono*, cuantías y dimensiones dadas por los cálculos, ver figura 3.191. Se eligió esta solución por la rapidez de ejecución, para no interferir en el resto del desarrollo de la obra.

Después de aplicar el refuerzo se realizaron pruebas de carga de la parte afectada, dando resultados excelentes, en cuanto a flechas como a la recuperación de las mismas.



Figura 3.191 Vista del refuerzo aplicado en las vigas de forjado.

- ERROR DE EJECUCIÓN EN CHALETS, MARBELLA:

En este caso, en las afueras de Marbella, se construye una urbanización de más 100 chalets. Cuando las estructuras de todos ellos ya estaban construidas, se aprecia que había un cambio en la disposición en planta de los pilares con respecto a la que aparecía en los planos. Por lo que, en los cálculos de la estructura, los esfuerzos en el forjado reticular cambiaban, dejando la estructura en unas condiciones de seguridad inadecuadas. Fue necesario realizar un refuerzo en todos los forjados afectados.

La solución más viable a adoptar fue el refuerzo mediante el pegado de laminados de fibra de carbono en los nervios afectados del forjado reticular. Esta solución se consideró la óptima debido a su rapidez de ejecución, a lo poco que iba a afectar al desarrollo de la obra, ya que era la que menos obligaba a destruir lo ejecutado, como tabiques de partición, revestimientos,...etc. Ver figura 3.192.



Figura 3.192. Vista del refuerzo de una viga que atraviesa una partición.

En la foto se observa, como la realización de estos refuerzos pueden solucionar problemas aparentemente problemáticos, surgidos durante la ejecución de una obra, con la menor interrupción en los trabajos, y a la vez, no tomar soluciones tan drásticas como la destrucción de obra ya ejecutada.

- REFUERZO DE VOLADIZO A FLEXIÓN NEGATIVA.

En este caso, en un edificio la estructura resistente del voladizo de los balcones, ha sufrido un deterioro considerable que es necesario reparar.



Fotografía 3.193 Refuerzo a flexión negativa.

En la fotografía 3.193, se ha reforzado el vuelo del forjado con la colocación de laminados de fibra de carbono en la cara superior del voladizo. Lo primero en la intervención ha sido descubrir las caras de cada una de las vigas a reforzar, limpiando la superficie de hormigón. A continuación se corta el laminado según las longitudes a instalar y se replantea la posición de éstos sobre la parte superior de la viga, extendiéndose una película de entre 0,5 y 1 mm de espesor de adhesivo estructural. Sobre la cara limpia del laminado se aplica una capa del mismo adhesivo.

Se procede a poner el laminado sin ejercer presión hasta que se comprueba que está colocado en su sitio, ejerciéndose entonces presión sobre éste mediante un rodillo especial, de goma dura. De esta forma se logra que rebose el adhesivo sobrante por los lados, así como las posibles burbujas de aire. El adhesivo sobrante se retira con una espátula.

En el caso de un refuerzo a flexión positiva el procedimiento operativo es similar al comentado. Debido a su bajo peso, los laminados no necesitan ser apeados y se sostienen en el soporte desde el principio.

- REPARACIÓN Y REFUERZO ESTRUCTURAL DE EDIFICIO ABANDONADO, VIZCAYA.

La aplicación del refuerzo en este caso trata de transformar un edificio abandonado, en la nueva Casa de Cultura de Elorrio, situado en Vizcaya.



Figura 3.194. Vistas exteriores del Palacio Iturri previo a las actuaciones de reparación y refuerzo.

Se han combinado métodos clásicos de recrecidos en secciones, con otros más modernos, como la combinación de materiales compuestos a base de fibras de carbono embebidas en una matriz formada por resinas epoxi.

Se comprobó la insuficiencia resistente de los elementos estructurales debido al incremento en las cargas que había conllevado el cambio de uso. De esta forma, se justificó la necesidad de refuerzo y reparación de todas las zonas afectadas con el fin de adecuar la estructura a su nuevo uso.

El objetivo de la reparación, es devolver al paramento la capacidad resistente original, así como incrementar la durabilidad del elemento reparado.

En cuanto al refuerzo, el objetivo es incrementar la capacidad portante de la estructura. De forma general, se puede decir que existen dos métodos para el refuerzo:

- Incremento de la sección resistente.
- Utilización de sistemas adheridos mediante la utilización de FRP.

Tras el diagnóstico de las patologías y el análisis estructural, se elaboró el diseño de la reparación y refuerzo, según las necesidades de cada sección tipo, ver figuras:

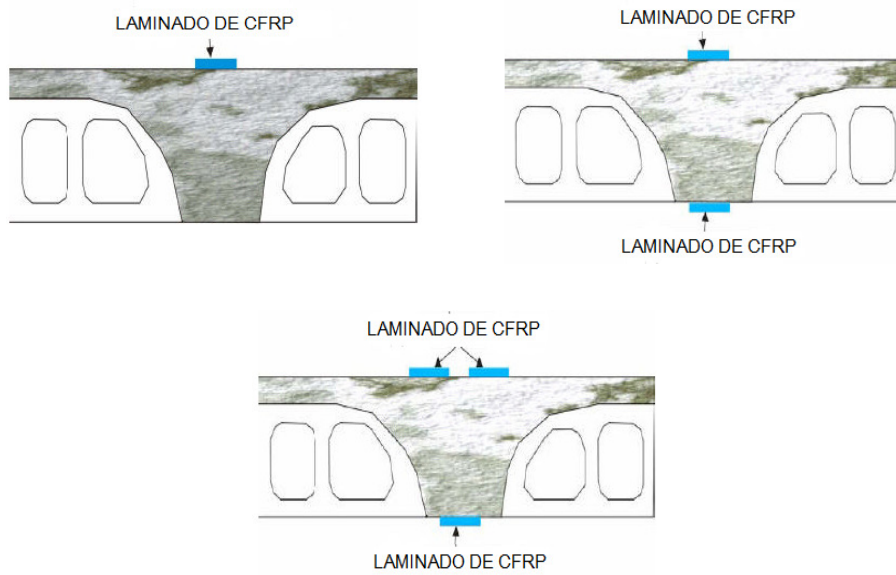


Figura 3.194. Diferentes secciones tipo para los refuerzos de los forjados.

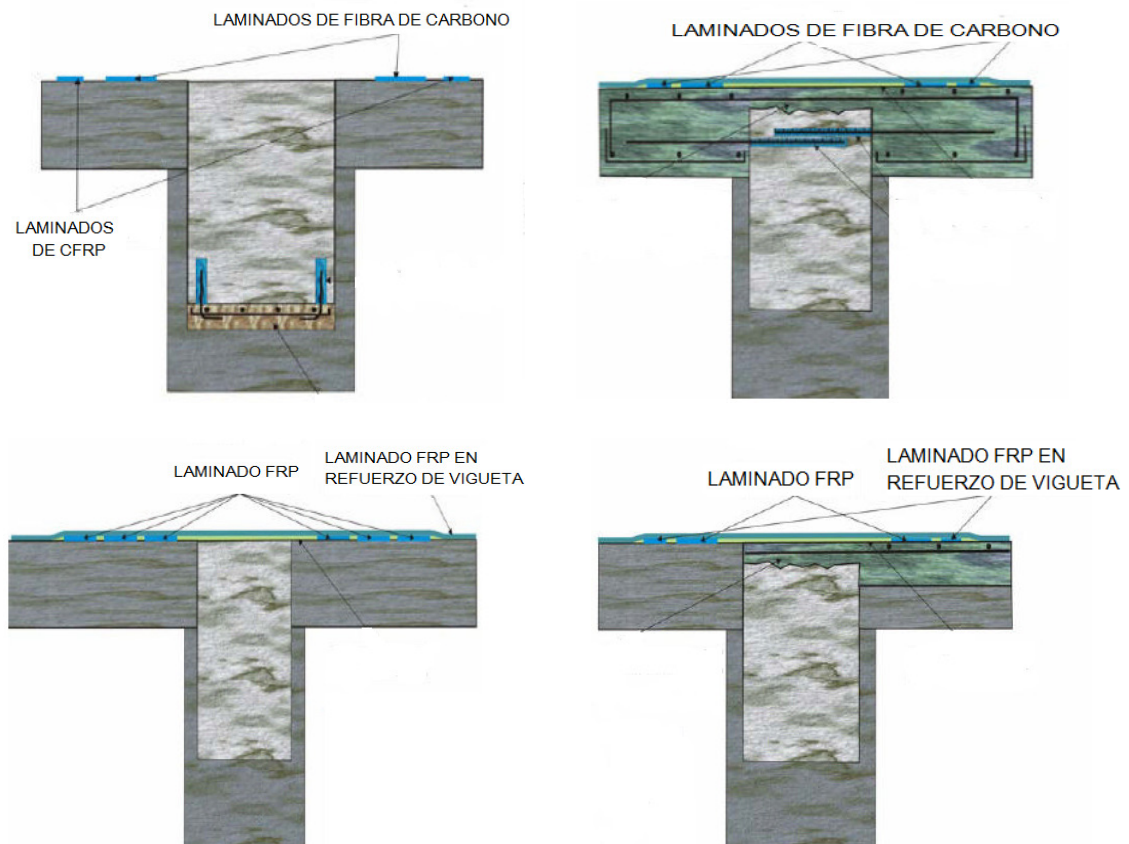


Figura 3.195 Diferentes secciones tipo para los refuerzos de las vigas.



Figura 3.196 Ejemplos de las zonas donde se han realizado reparaciones.



Figura 3.197 Imprimación de la resina.



Figura 3.198 Aplicación del adhesivo.



Fig.3.199 Vista de varios refuerzos estructurales, a momentos positivos y negativo.



Figura 3.200 Protección del laminado con mortero para evitar daños durante la obra.

REFUERZO A CORTANTE DE ESTRUCTURAS DE H.A.

El refuerzo frente a esfuerzos cortantes de vigas de hormigón armado, tanto en edificación como en obra civil, está siendo cada vez más frecuente.

En la figura 3.201, se reflejan a modo comparativo las soluciones tradicionales y los sistemas a base de nuevos materiales que se pueden realizar en un elemento estructural, (viga):

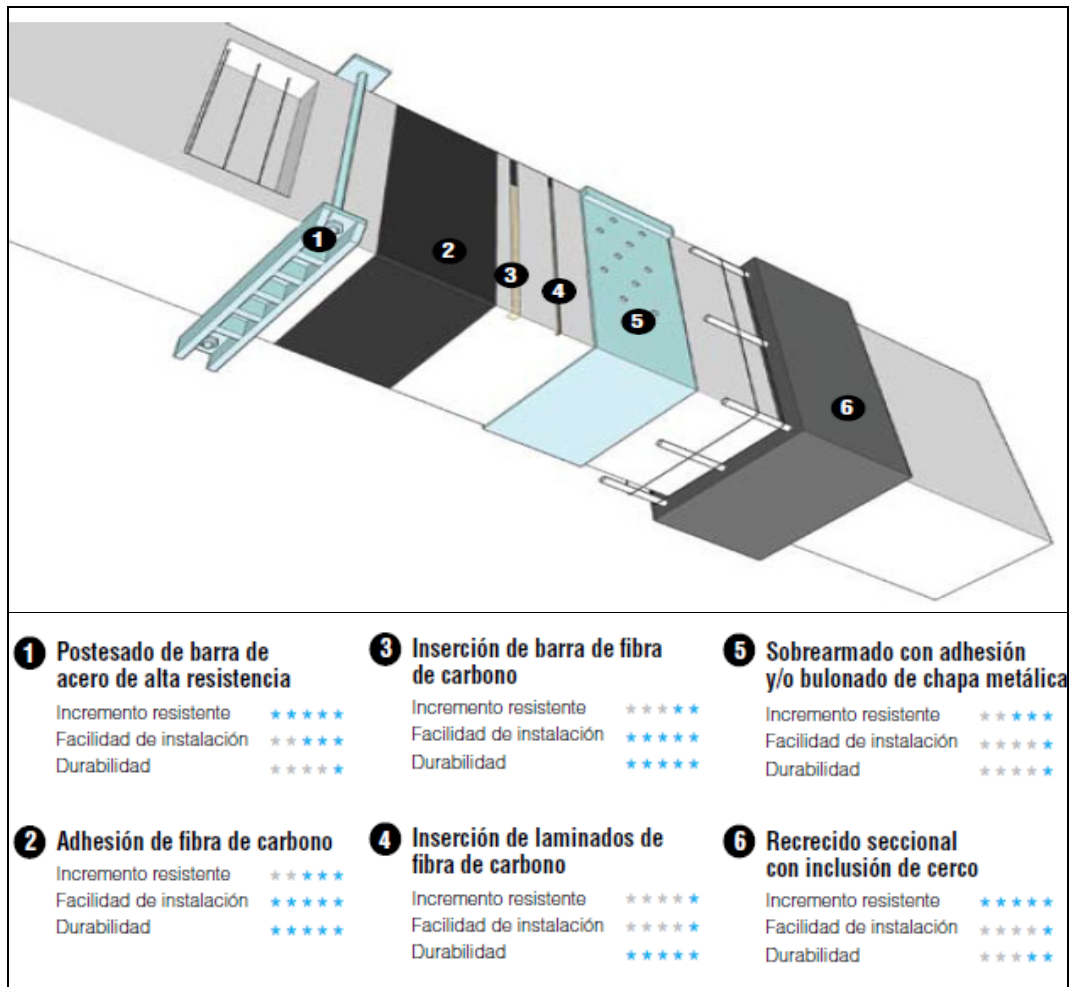


Figura 3.201 Esquema de los métodos de refuerzo a flexión a los que puede someterse una viga.

Como se observa en el esquema anterior, los refuerzos a base de materiales de fibra de carbono, tanto por adhesión como por inserción del laminado, obtienen unos resultados en durabilidad y facilidad de instalación, muy superiores al resto de técnicas tradicionales, que compensan en cierta manera el incremento resistente, que sigue siendo importante.

Las configuraciones de refuerzo a cortante más habituales y que demuestran ser más eficaces, consisten en la fijación de materiales compuestos mediante adhesivos estructurales, diferenciando tres tipos de configuración del refuerzo, ver figura 3.202:

- Bandas o láminas ancladas por adherencia en sendas caras laterales de la viga a reforzar.
- Bandas o láminas en U, ancladas por adherencia en sendas cargas laterales de la viga a reforzar.
- Bandas o láminas ancladas en la cara superior y/o inferior de la viga, refuerzo envolvente.



Figura 3.202 Disposiciones del refuerzo a cortante en vigas.

Dentro de cada una de las configuraciones pueden señalarse variantes, en función de si las bandas ocupan el canto completo de la viga o sólo lo hace parcialmente. El refuerzo puede estar constituido por láminas o por bandas dispuestas a distancias regulares.

Siempre que sea posible se dispondrá una configuración del refuerzo totalmente envolvente o al menos de refuerzo en U, con la cara comprimida en el lado abierto de la "U". En este tipo de refuerzos debe tenerse especial precaución en las esquinas, especialmente en aquellas soluciones que sean muy rígidas. Algunos fabricantes de materiales compuestos disponen elementos prefabricados en L; en caso contrario deben redondearse las esquinas de acuerdo con los criterios que establezca el suministrador, avalados por experimentación suficiente, ver figura 3.203.



Figura 3.203. Detalle de angular de fibra de carbono.

Técnica de aplicación:

- Se prepara el soporte. Una vez preparado el soporte, se realizarán los agujeros para el anclaje de los laminados, (figura 3.204).
- Se preparan los laminados o tejidos a utilizar, (figura 3.205).
- Se preparan los adhesivos, (figura 3.206).
- Se aplican los adhesivos, una capa al soporte y otra sobre el laminado, (figura 3.207 y 3.208).

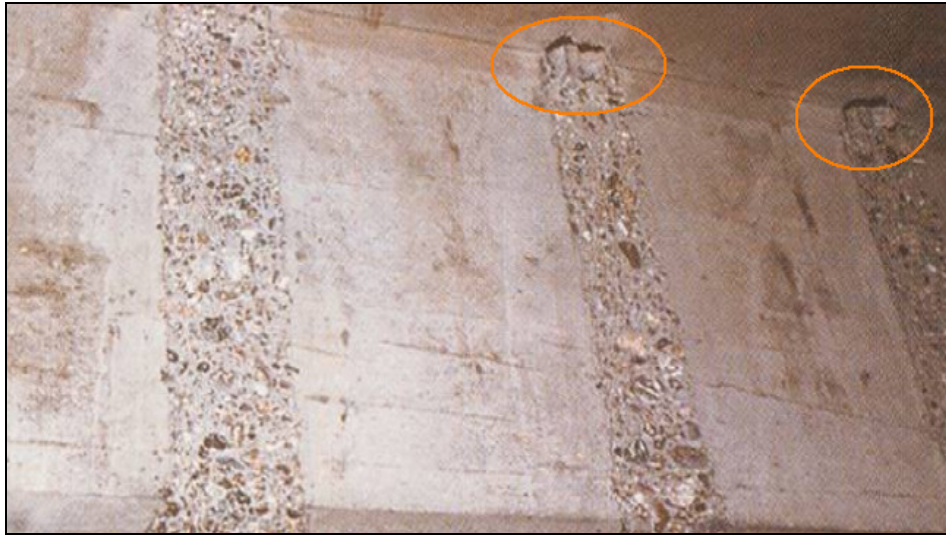


Figura 3.204. Detalle de agujeros realizados para el anclaje de los laminados.



Figura 3.205.



Figura 3.206.



Figura 3.207



Figura 3.208

- Se inserta el angular en el hueco realizado para el anclaje y se pega el angular, figuras 3.209 y 3.210. En el caso de tejidos de fibra de carbono, éstos se colocan sobre la resina en fresco, en la dirección adecuada, impregnando el tejido de resina y presionándolo con un rodillo especial, solo en la dirección de las fibras, ver figuras 3.211 y 3.212.

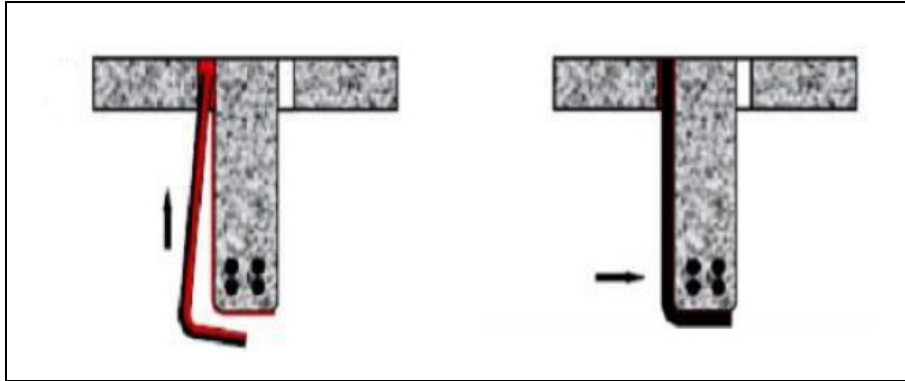


Figura 3.209.



Figura 3.210 Colocación del laminado en forma de angular.



Figura 3.211 Aplicación del rodillo.



Figura 3.212 Rodillo especial.

- Por último, en el caso del tejido, adherir una chapa de aluminio de 5cm de ancho sobre el tejido y anclar mecánicamente la chapa de aluminio al soporte con un espaciado de 20 cm.

- **Aplicaciones:**

- REFUERZO A CORTANTE Y FLEXIÓN DE VIGAS EN UN CONCESIONARIO DE LÉRIDA.

En este ejemplo de Lérida, se requiere el refuerzo de diversos pórticos de hormigón armado, tanto a flexión como a cortante, debido a un incremento de las cargas, experimentado en las instalaciones de un concesionario, provocado por la construcción de un altillo sobre la estructura existente.

El refuerzo que se proyectó consistía en la aplicación de tejido de fibra de carbono mediante laminado unidireccional, (figuras 3.213 y 3.214).

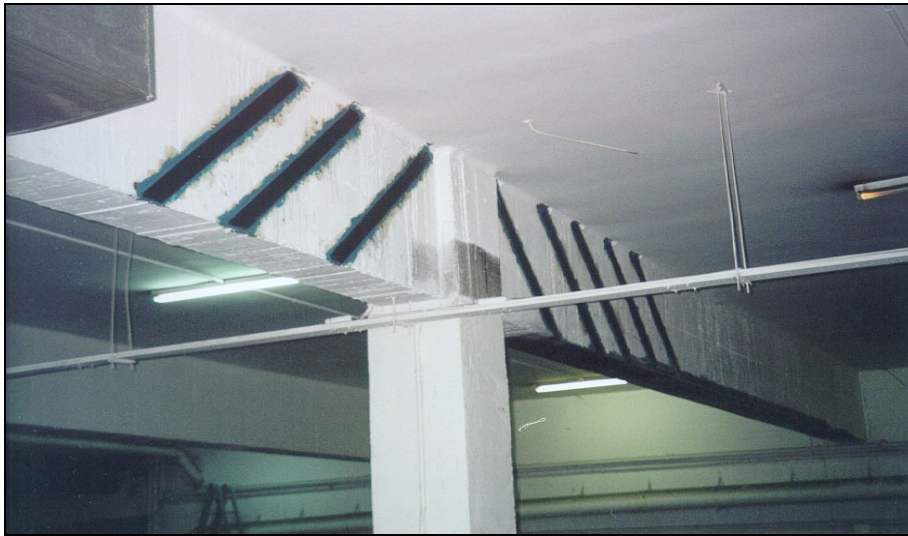


Figura 3.213 Instalación del refuerzo a flexión y cortante.

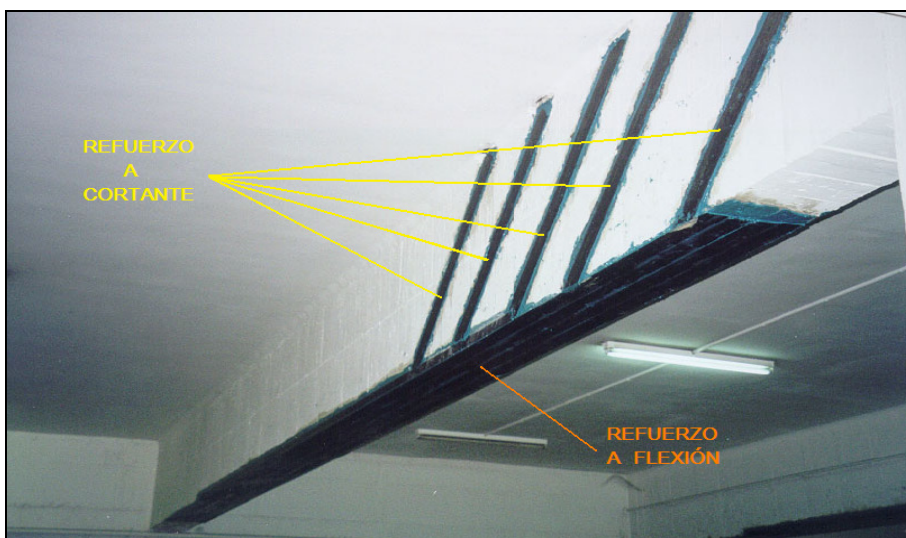


Figura 3.214 Refuerzos a flexión y cortante, ya instalados.

- REFUERZO DE VIGAS EN VOLADIZO EN UN EDIFICIO DE CASTELLÓN.

El siguiente ejemplo se trata de un edificio situado en Castellón (figura 3.215), el cual ha sido sometido a una intervención de rehabilitación. El edificio presentaba patologías de aluminosis, las viguetas de los forjados estaban seriamente dañadas y las vigas en voladizo habían cedido por falta de armado a cortante, ver figura 3.216.



Figura 3.215 Vista del edificio a rehabilitar.



Figura 3.216 Viga de voladizo rota a cortante.

El refuerzo de las vigas de voladizo se realizó añadiendo cercos a la viga y revistiéndola posteriormente con tejido de fibra de carbono y resinas epoxídicas, ver figura 3.217. Al igual que las jácenas interiores también fueron intervenidas de la misma manera como se muestra el resultado en la figura 3.218.



Fig. 3.217 Detalle refuerzo de viga de voladizo.



Fig. 3.218 Refuerzo de jácena en interior.

Como se observa en las fotografías anteriores, la configuración del refuerzo de las láminas de fibra de carbono, se ha dispuesto en forma de "U".

- REFUERZO A CORTANTE DE UN FORJADO RETICULAR.

Se trata de un forjado reticular, sometido a un refuerzo por cortante y para ello se utiliza tejido de material compuesto de fibra de carbono.



Figura 3.219



Figura 3.220

En la figura 3.219, se ve al operario imprimando el adhesivo en la zona donde va a ser colocado el tejido. En las siguientes figuras (3.220 y 3.221), se muestra la colocación de los tejidos en la zona donde ha sido impregnado anteriormente el adhesivo estructural, y como pasan el rodillo para terminar de impregnar el tejido con el adhesivo. Finalmente el acabado del refuerzo se aprecia en la figura 3.222.



Figura 3.221



Figura 3.222

- REFUERZO DE VIGA A CORTANTE EN EDIFICIO DE VALENCIA.

El siguiente ejemplo visualiza el proceso de refuerzo de una viga que ha tenido fallo por cortante, y la aplicación de la solución a éste por medio de fibra de carbono.



Figura 3.223 Localización de la viga a reparar.



Figura 3.224 Preparación del soporte para la colocación de los refuerzos.

En las siguientes figuras, se observa la mejora en el comportamiento de una viga a cortante. Se resuelve abrazando externamente las caras vistas de la viga en forma de “U” con los angulares de fibra de carbono adherido y anclado al forjado mediante taladros, para así poder acceder a la zona de compresión de la viga. Las ventajas son significativas en cuanto a que no se requiere apuntalamiento y no se incrementa la sección del elemento a reforzar, además de otras.

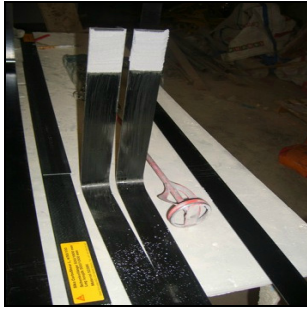


Fig. 3.225 Laminados.



Fig. 3.226 Huecos sin laminado.



Fig. 3.227 Huecos con laminado.



Figura 3.228



Figura 3.229



Figura 3.230 Resultado de la colocación del refuerzo a cortante.

REFUERZO O CONFINAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE H.A.

Para este tipo de aplicación, los polímeros armados con fibras o (FRP), también son utilizados en refuerzo de pilares, dando una mayor resistencia y ductilidad a los elementos estructurales.

Cuando un pilar de hormigón es confinado, ya sea con cercos, con camisa de acero, o con materiales de FRP, se somete a compresión axial, comprimiéndose el hormigón en la dirección de la carga y expandiéndose lateralmente, efecto Poisson. Cuando el sistema de confinamiento es realizado mediante FRP, la presión de confinamiento, se opone a esta expansión transversal, incrementando así la resistencia y la deformación última del hormigón.

Existen varios métodos de refuerzo de pilares con materiales compuestos. En todos ellos la principal dirección de orientación de las fibras es perpendicular al eje del pilar, y la camisa puede cubrir el pilar totalmente o bien parcialmente en forma de espiral o anillos, figura 3.231. Cuando la influencia de la envoltura es parcial, y existen separación entre las bandas del tejido de refuerzo, se obtiene una menor eficiencia ya que existen zonas confinadas y sin confinar. Se considera, por lo tanto, que la presión transversal es efectiva solo donde la presión de confinamiento se desarrolla plenamente debido a la acción arco.



Figura 3.231 Configuración de refuerzo para pilares.

Para las secciones cuadradas o rectangulares, el efecto de confinamiento es menos efectivo, debido a que la presión de confinamiento no se transmite uniformemente, y solo una parte del núcleo de hormigón es efectivamente confinada.

Atendiendo al modo en el que se fabrica la camisa de refuerzo pueden clasificarse en tres grupos:

- *Wrapping*:

La técnica consiste en impregnar en la resina, hojas de fibra unidireccional o tejidos y aplicarlos manualmente sobre el pilar, envolviendo el perímetro de la sección, ver figura 3.232. También puede hacerse aplicando una capa de resina sobre la superficie del pilar, colocando a continuación sobre ella la fibra seca y finalmente otra capa de resina encima. El material compuesto se forma in situ alrededor del pilar cuando cura la resina.



Figura 3.232 Aplicación de fibra de carbono mediante wrapping.

Este método de confinamiento es el más comúnmente utilizado debido a su facilidad de aplicación y la flexibilidad para adaptarse a distintas geometrías y dimensiones del elemento a reforzar.

- Bobinado automático:

Es similar al método anterior, pero se utiliza una máquina que impregna las fibras continuas en un baño de resina, antes de enrollarlas alrededor del pilar fabricando una camisa de espesor, con el porcentaje de fibras y orientación de las mismas controladas, ver figura 3.233. Se obtiene así una camisa de mayor calidad y con un mayor porcentaje de fibras. Como desventajas hay que señalar que requiere una inversión en la máquina de bobinado y la dificultad para adaptarse a distintas formas de la sección.

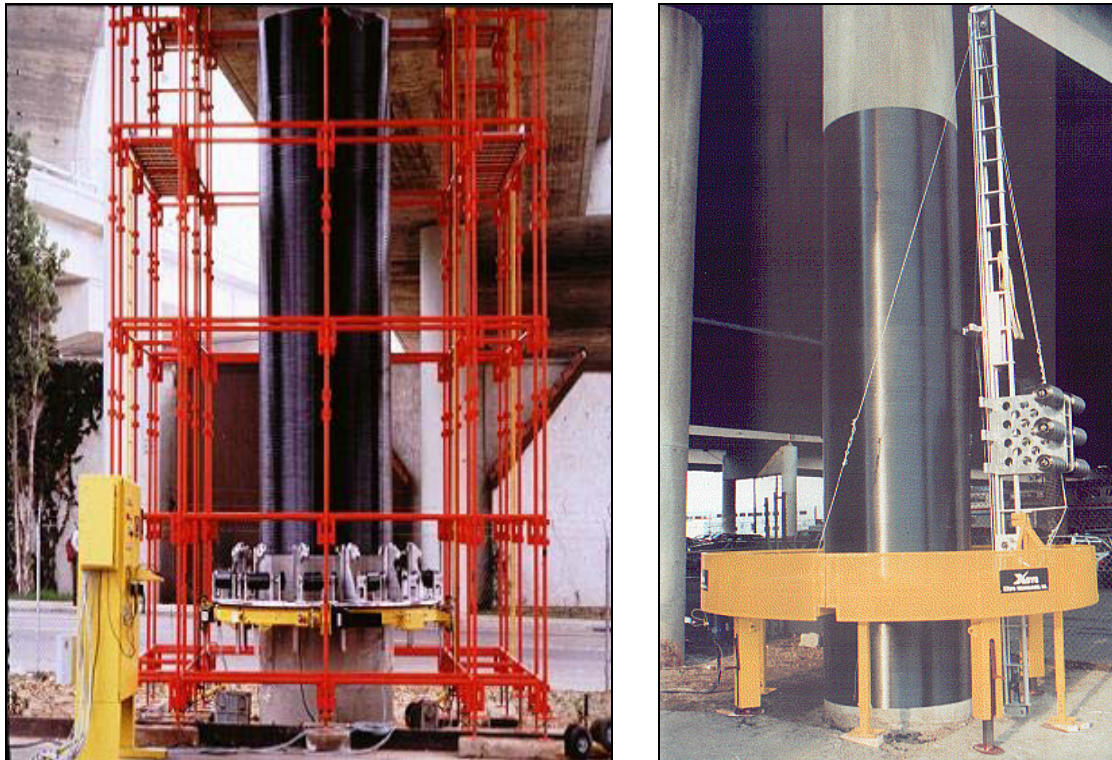


Figura 3.233 Sistemas de bobinado automático de fibra de carbono.

- Encamisado con elementos prefabricados:

La camisa está formada por una o varias piezas prefabricadas que se adaptan a la geometría del pilar. Suele fabricarse bien en dos piezas que se pegan entre sí al colocarlas sobre el pilar, o en una sola pieza con una abertura longitudinal que permite abrirla y envolver el pilar, ver figura 3.234.

Para que el confinamiento sea efectivo es esencial que pilar y camisa estén en contacto, lo que se asegura bien pegándola con adhesivos o inyectando un mortero sin retracción en el espacio entre el núcleo de hormigón y la camisa.



Figura 3.234 Camisas prefabricadas.

Con esta técnica mejora el control de calidad de las camisas, pero el coste de la prefabricación, unido a la limitación en cuanto a formas y tamaños de la sección, hacen que no esté indicada si no hay que reforzar un número elevado de pilares con la misma geometría.

Sí se ha utilizado en algunos casos en pilares cuadrados o rectangulares en los que se quiere modificar la forma de la sección para aumentar la eficacia del confinamiento. Se colocan camisas circulares o elípticas que sirven también como encofrado y se hormigona el espacio entre la sección cuadrada o rectangular original y la camisa.

Para la aplicación del material:

- Se prepara el soporte.
- Se prepara el tejido, no se debe cortar en la dirección de las fibras, ni doblarse, ver figuras:



Figura 3.235



Figura 3.236

- Se prepara el adhesivo estructural.
- Se realiza la aplicación del adhesivo en el soporte, ver figura 3.237.
- Se aplica el tejido, colocándolo sobre la resina en fresco en la dirección adecuada. Y se impregna el tejido de resina, presionándolo con un rodillo especial (figura 3.238), solo en la dirección de las fibras. Ver proceso gráfico:



Fig. 3.237 Aplicación del adhesivo en el soporte. Fig. 3.238 Rodillo para aplicar la resina.



Figura 3.239



Figura 3.240



Figura 3.241



Figura 3.242

- **Aplicaciones:**

- EJEMPLOS DE CONFINAMIENTOS EN DISTINTOS PILARES:



Figura 3.243 Instalación de FRP en pilar de sección cuadrada.



Figura 3.244 Fortalecimiento de columnas circulares mediante FRP.

En los últimos años las hojas y tejidos de material FRP se han utilizado para encofrar muros de corte para el reforzamiento sísmico y para el fortalecimiento de explosión (también conocido como endurecimiento).

- REHABILITACIÓN Y REFUERZO ESTRUCTURAL DE EDIFICIO EN CANFRAN, HUESCA.

En el valle de Aragón se encuentra la estación internacional de Canfran, presidida por un edificio de enormes dimensiones, ver figura 3.245. El proyecto se diseñó a finales del siglo XIX y tenía que representar la modernidad y la inauguración del nuevo siglo a punto de empezar.



Figura 3.245 Vista general Estación de Cafran, Huesca.

El edificio principal de la estación destaca por su magnitud y por su valor artístico, es declarado monumento histórico-artístico, por su espectacular cubierta de pizarra y por las influencias del modernismo español. Pero el clima de montaña y otras afecciones han deteriorado seriamente su estructura.

El edificio emblemático de la antigua estación, se debía de rehabilitar para acoger las instalaciones de un hotel de lujo, y otros servicios comerciales.

De las patologías que se hallan, destacan las fisuras longitudinales por corrosión de las armaduras, y en los pilares, armados con barras de acero liso y de baja resistencia a tracción. Además, el poco espesor de recubrimiento, así como la presencia de coqueras y juntas de hormigonado eran consecuencia de una deficiente ejecución, ligada a los precarios medios que se utilizaban en la época que se construyó. Ver figuras 3.246.

De este modo, la dirección facultativa de la obra, decidió que debía de repararse la estructura compuesta de pilares y jácenas.

Inicialmente, se verificó que la resistencia de la estructura era adecuada frente a las nuevas cargas que originarían otros métodos de reparación o refuerzo, pero se optó por un sistema de refuerzo mediante fibras de carbono.



Figura 3.246. Estado inicial de la estructura. Recubrimiento del hormigón deficiente.

Para la reparación y refuerzo estructural se comenzó por la preparación de soportes, eliminando el hormigón carbonatado, causante de la oxidación del armado, y recuperando la sección. Ver figura 3.247.



Figura 3.247

Para el refuerzo se utilizaron hojas de fibra de material compuesto de carbono, mediante confinamiento para los pilares, y para jácenas frente a esfuerzos de cortantes. Este sistema se realiza mediante la incorporación de laminado in situ, colaborando todas las fibras que componen el sistema a la resistencia de la estructura.

Para el diseño de refuerzo de los pilares, se tuvo en cuenta el ángulo redondeado de los vértices de la sección cuadrangular de los pilares, ver figuras 3.248 y 3.249. De este modo, a mayor radio, se consigue una mayor área de confinamiento cuando estos entran en carga. El radio se consideró de 3cm, y también se asegura que las fibras que envuelven las secciones no tiendan a romper por exagerada angulosidad.



Fig. 3.248 Pilar rectangular confinado.

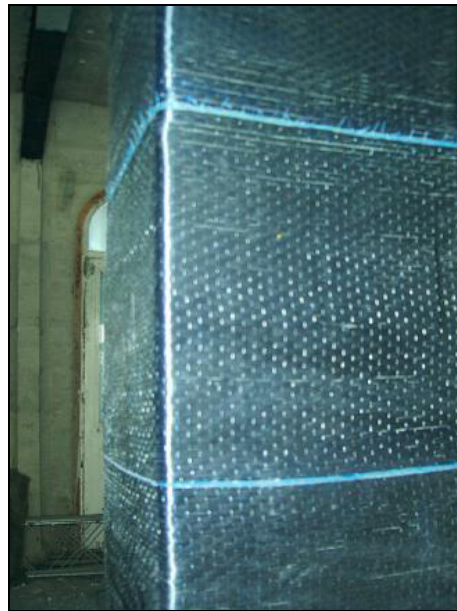


Fig. 3.249 Detalle del refuerzo en esquina.

En el refuerzo de jácenas, para aumentar la capacidad resistente frente a esfuerzos cortantes, se procedió a reforzar mediante hojas de fibras de carbono, disponiéndolas de forma perpendicular al eje longitudinal de las jácenas, y muy próximas a los apoyos, ver figura 3.250.

En los apoyos es donde coexisten los mayores esfuerzos cortantes y flectores negativos de las jácenas, se extendió el refuerzo prácticamente en la totalidad de la luz, ver figura 3.251.



Fig. 3.250 Refuerzo de jácenas a cortante.



Fig. 3.251 Vista general de refuerzos.

REFUERZO DE OTROS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

Otra aplicación de materiales innovadores, son un tipo de varillas corrugadas de plástico, que podrían sustituir a las que se utilizan actualmente como refuerzo del hormigón en las obras, que al ser de acero y estar expuestas a la humedad y oxígeno, pueden sufrir una corrosión imposible de controlar, ver figura 3.252.



Figura 3.252 Varilla de plástico corrugada.

Estas varillas se fabrican utilizando una tecnología novedosa, con radiación ultravioleta, que consigue reducir el consumo energético en la fabricación, con lo que se minimizan costes y plazos de fabricación. Esta nueva tecnología también reduce las emisiones de compuestos orgánicos volátiles durante la producción, lo que supone el aumento de la seguridad de los trabajadores. No presenta problemas de durabilidad y cuenta con la ventaja de que tiene las propiedades físicas y mecánicas similares a las de acero, pero un menor peso.

Así pues, estas varillas podrán ser aplicadas en hormigón expuesto a la sal de mar en zonas de puertos, edificios o estructuras cerradas como acuarios o granjas marítimas, y en hormigón expuesto a otros medios como industrias químicas o instalaciones petroquímicas. También serán útiles en lugares que precisen protección electromagnética como instalaciones de radar, barreras de paso a nivel, torres de línea de alta tensión y subestaciones eléctricas. Su uso está previsto además en cornisas, balcones, calzadas y túneles.

Esta innovación aporta gran valor a la construcción en lugares como Valencia, donde en el año 2010 hubo una media de humedad superior al 70%. El objetivo que se pretende es sustituir el acero por plástico en aplicaciones estructurales para edificios cercanos al mar, balcones, calzadas o túneles.

Estas varillas hasta ahora son muy utilizadas como refuerzo en mamposterías de muros por medio de su incorporación en las juntas (tendeles), y en la rehabilitación de molduras arquitectónicas, según se muestra en las siguientes figuras:



Figura 3.253. Rehabilitación de molduras.



Figura 3.254 Refuerzo en mamposterías.

En la figura 3.253, se muestra la incorporación de una varilla de este material para realizar los trabajos de reparación de las molduras de las cornisas, esta hará su función de cosido cuando se incorpore el material moldeable al sustrato. En la figura 3.254, se está incorporando una varilla de fibra de vidrio en los tendeles de una fábrica, para poder reforzarla.

Estas varillas se componen en peso de, aproximadamente, un 80% de fibra y un 20% de resina, teniendo una capa protectora final de acabado. La fibra aporta la resistencia y la resina hace las veces de envoltorio, que le da forma al empaquetamiento, y protege frente a ataques externos.



Figura 3.255

Se trata de varillas (figura 3.255), con sección circular realizadas con material compuesto de fibras de vidrio unidireccionales impregnadas con resina sintética, ampliamente utilizado en la reconstrucción, sobretodo histórica o monumental, para realizar clavados y micro-soldaduras, también para tratamientos en vigas de madera. No le afectan las corrientes de fuga ni los campos electromagnéticos y presenta una altísima resistencia anticorrosión.

- **Aplicaciones:**



Figura 3.256

Las varillas de material compuesto, se han introducido en el pilar de mampostería, para reforzar y consolidar el elemento estructural, gracias a sus excelentes propiedades mecánicas. En la siguiente figura 3.257, se han introducido para el refuerzo y consolidación de un arco.

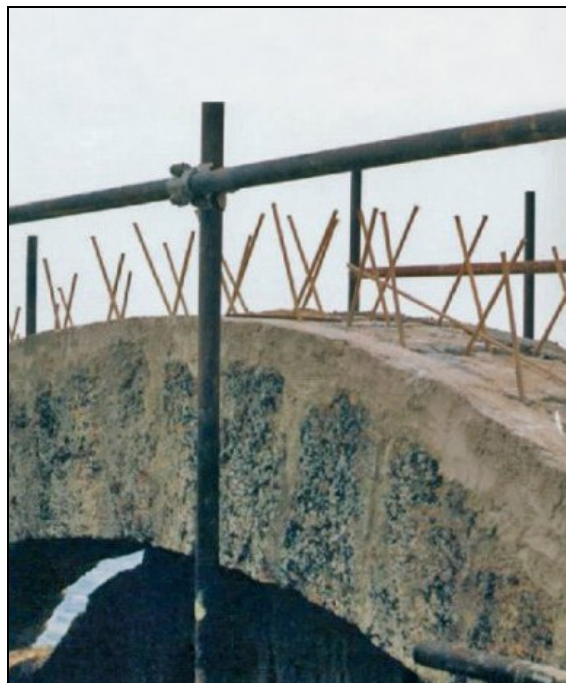


Figura 3.257

La reparación y el refuerzo en arcos, bóvedas y cúpulas, también se utilizan muy comúnmente, ver los siguientes ejemplos:



Figura 3.258 Refuerzo de bóveda mediante tejido de fibra de carbono.



Figura 3.259 Refuerzo en cúpula por adhesión de laminados.

- APLICACIÓN EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA:

Los refuerzos de estructuras de mampostería con tejidos de FRP constituyen una técnica muy eficaz para incrementar la resistencia a la flexión y la ductilidad. La resistencia de los muros reforzados depende en gran medida de la configuración y del tipo de material de refuerzo.

A continuación, se proponen algunos gráficos que muestran técnicas generales para la aplicación de refuerzos:

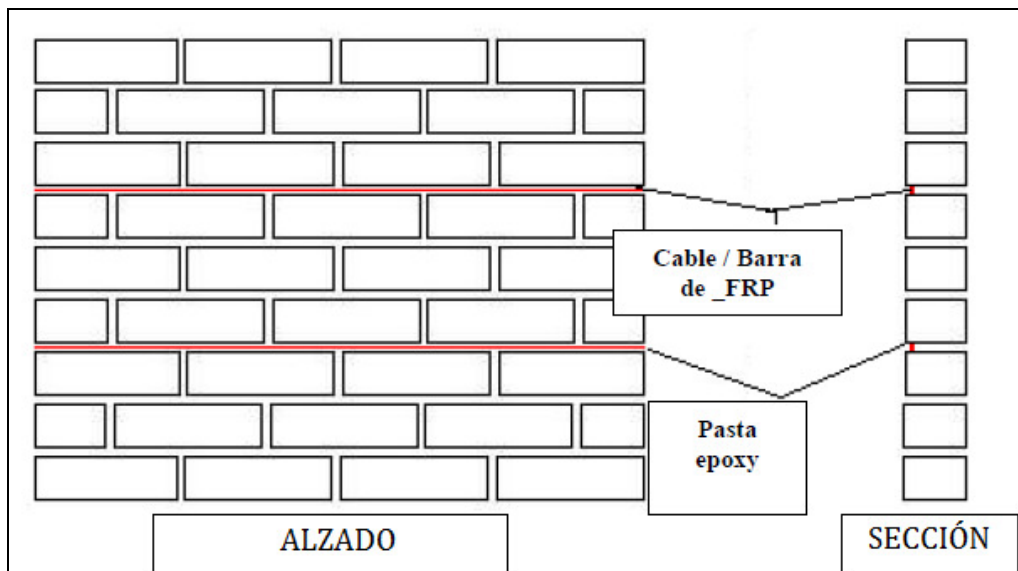


Figura 3.260 Ejemplo de refuerzo horizontal de un muro para resistir carga a cortante.

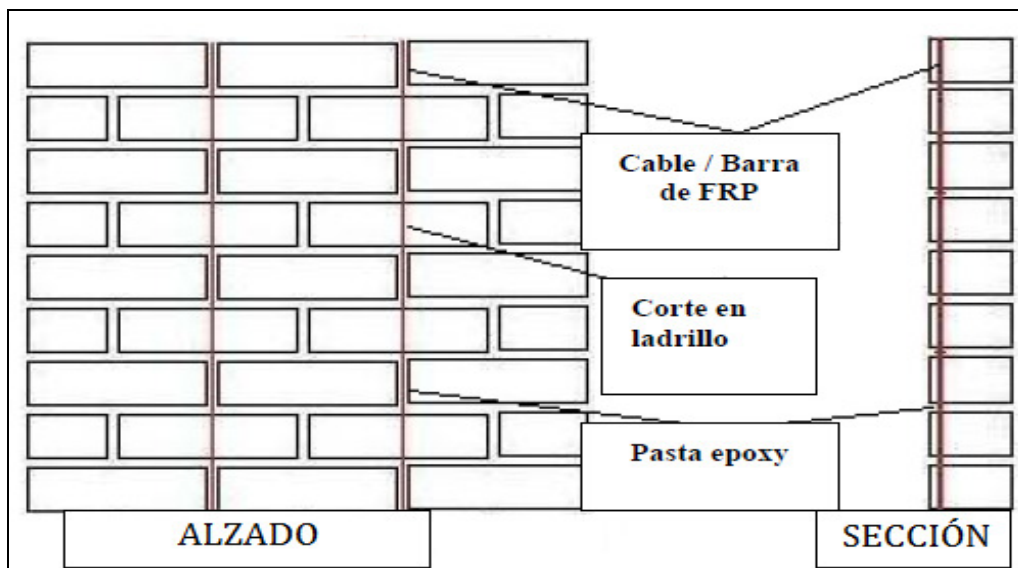


Figura 3.261 Ejemplo de refuerzo vertical en un muro para resistir carga por flexión.

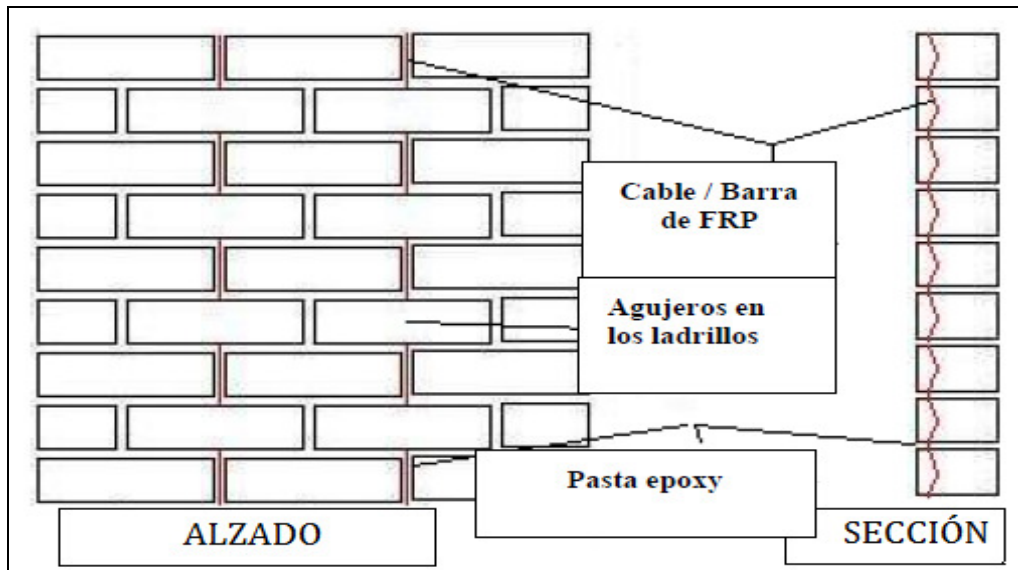


Figura 3.262 Ejemplo de refuerzo vertical en un muro mediante cable.

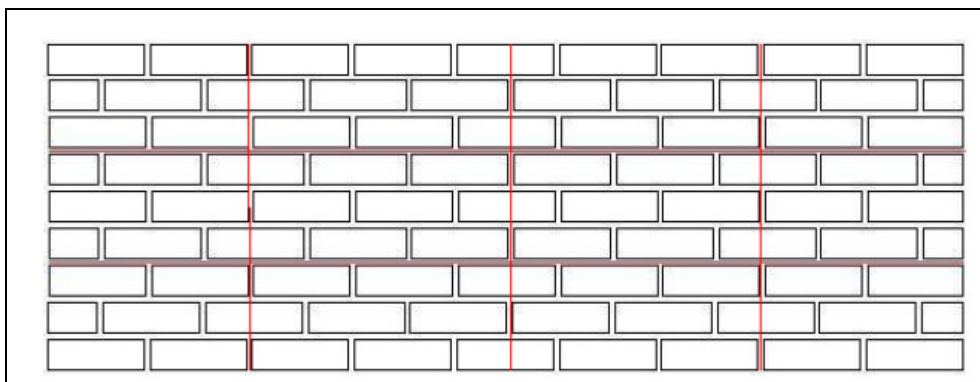


Figura 3.263 Ejemplo de refuerzo bidireccional de muros cortos (cortante y flexión).

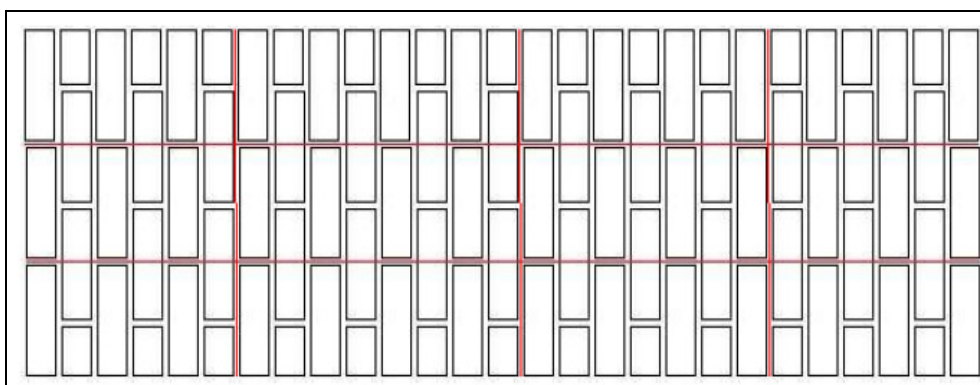


Figura 3.264 Ejemplo de refuerzo bidireccional de muros largos (cortante y flexión).

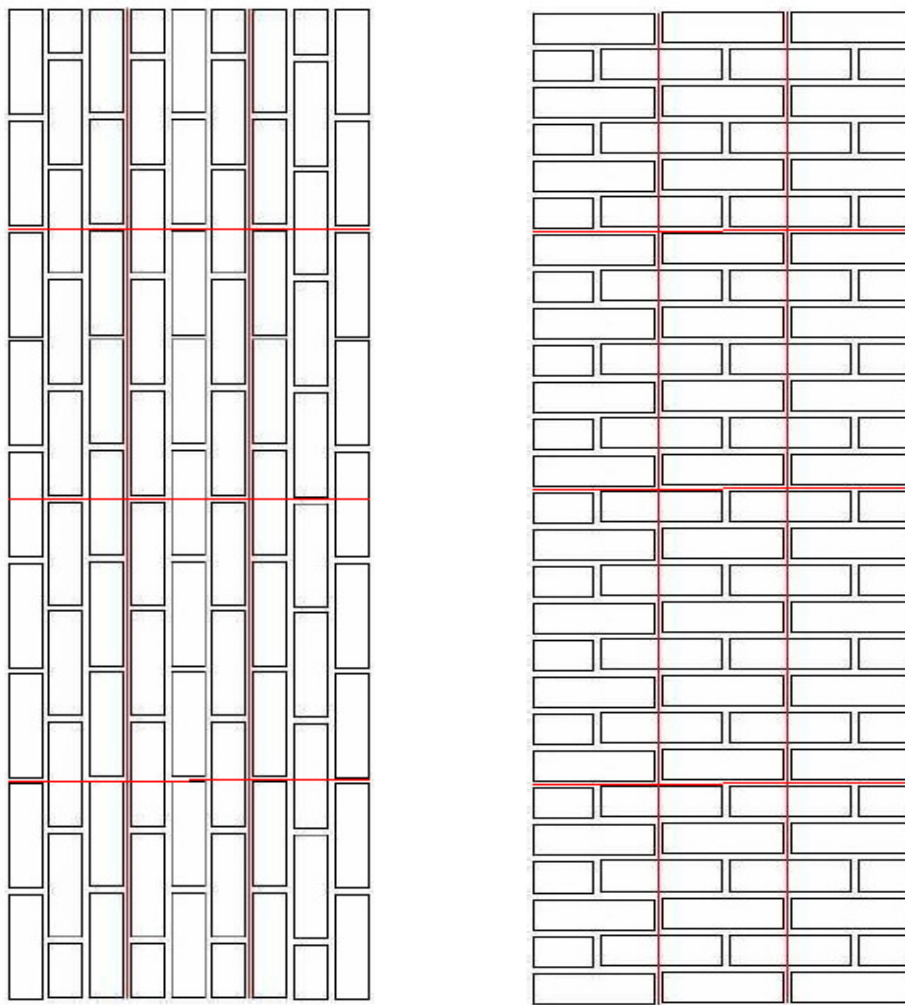


Figura 3.265 Ejemplo de refuerzo bidireccional de muros altos (cortante y flexión).

Este tipo de técnicas se denominan rejuntado estructural, y consiste en aplicar barras/cables de FRPs embebidas en las juntas de los muros, previamente ranurados, utilizando un mortero epoxídico. Para ello se utiliza una amoladora para cortar las ranuras y una pistola para aplicar el mortero epoxi. La aplicación del material sólo se efectúa a un lado del muro, bien horizontalmente, bien verticalmente, aumentando la capacidad a cortante. Cuando las barras se aplican en ambos lados, se logra un incremento de más del 120%. La adherencia entre la pasta epóxica y el material base es la clave en el comportamiento.

APLICACIÓN DE REFUERZO EN MURO DE ALBAÑILERÍA MEDIANTE APLICACIÓN DE FRP.

El siguiente ejemplo muestra la reparación en un muro de albañilería, que ha sufrido fallo por cortante. La técnica consistirá en resanar y adicionar varillas de fibra de vidrio GFRP en el elemento para proceder a su reparación, ver figura 3.266.



Figura 3.266

En la figura 3.266 se observa que en el muro se han producido fisuras, además de una serie de grietas de forma diagonal y trituration de algunos ladrillos, de la parte central de éste, con lo que se presume que el muro ha fallado por cortante.

Técnica de reparación y reforzamiento.

Primero se debe apuntalar todo previamente a la estructura. Seguidamente se procede al picado, con comba y cincel, de los extremos más dañados de las columnas, figura 3.267, añadiéndose un estribo donde el refuerzo vertical mostró pandeo, como se ve en figura 3.268.



Figura 3.267.



Figura 3.268.

Para colocar el refuerzo, se realizan ranuras en ambas caras del muro, donde irán las varillas de material GFRP. La profundidad de las ranuras será de un valor aproximado de 1.5cm. Estas ranuras no penetrarán en las columnas y estarán desfasadas en cada cara del muro en 2 hiladas, ver figura 3.269 y figura 3.270.



Figura 3.269



Figura 3.270

Después se procede a la profundización de las grietas principales de la albañilería, unos 2cm., ver figura 3.271, y los ladrillos centrales triturados, son removidos y reemplazados por mortero, ver figura 3.272.



Figura 3.271



Figura 3.272

La reparación de las columnas se realiza con nuevo hormigón, usando resina epóxica como puente de adherencia entre el hormigón existente y el nuevo hormigón. Para ello se usa un encofrado en forma de embudo, para que el hormigón nuevo rebalse y no se separe por contracción de secado del hormigón existente.



Figura 3.273

Luego, las grietas en la albañilería son selladas con mortero (figura 3.273), eliminándose el que penetró en las ranuras horizontales. Previamente, la zona a trabajar se limpió y humedeció. Las fisuras muy finas existentes en las columnas y la albañilería, no fueron resanadas, dejándose para después.

Para la instalación de las varillas de GFRP, se limpiarán las ranuras horizontales con aire comprimido, para después humedecerlas, (figura 3.274). Luego se aplica una primera capa de mortero, de manera que penetre en las ranuras. Ver figura 3.275.



Figura 3.274



Figura 3.275

Posteriormente, se instalan las varillas GFRP sobre la cama de mortero y se recubre la varilla con otra capa del mismo material, ver figura 3.276 y figura 3.277.



Figura 3.276



Figura 3.277

Finalmente, las fisuras más pequeñas existentes en las columnas, se resanaron con una mezcla de mortero y resina epóxica en polvo, quedando la reparación como se ven en las figuras:



Figura 3.278 Parte anterior del muro.



Figura 3.279 Parte posterior del muro.

La utilización del material compuesto en forma de varillas de GFRP controla el grosor de las grietas por corte, elevando la resistencia de forma lineal.

Esta técnica de reparación es fácil de aplicar y tiene un bajo costo en comparación a la construcción de un nuevo muro. Asimismo, como las varillas GFRP tienen una alta resistencia a tracción, es posible reducir la cantidad de varillas requeridas, en comparación con las varillas convencionales, lo que implica dañar en menor grado al muro en reparación y proporcionar rapidez al proceso.

Aparte de todo lo que se explica anteriormente, también existen otros métodos de refuerzo, que abordan otras soluciones menos intervencionistas, más durables y con cierto grado de reversibilidad. Estos aspectos cobran mayor interés en el ámbito de construcciones del patrimonio construido (especialmente si tienen valor histórico artístico), ver esquema en figura 3.280.

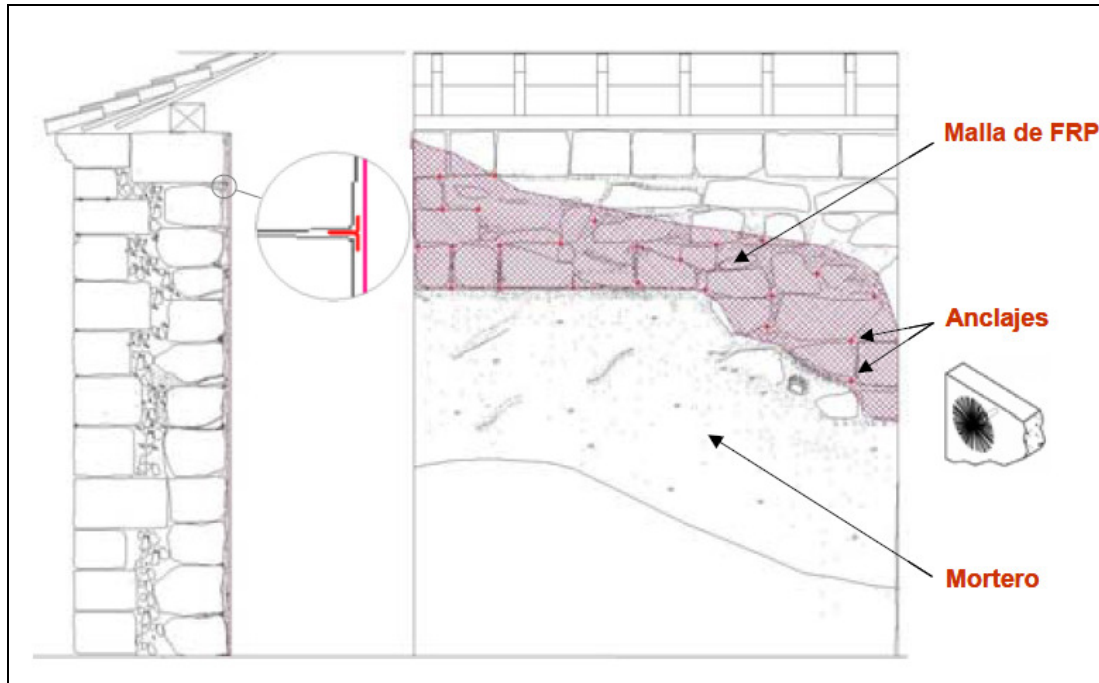


Figura 3.280 Refuerzo de fábricas de piedra, mediante anclaje y malla de FRP.

En estas aplicaciones de fábricas, el empleo de tejidos o mallas de FRP (figura 3.281), puede resultar ventajoso. Para ello, es indispensable conseguir unos niveles de rigidez similares a los de la fábrica, siendo el GFRP, una solución apropiada, siempre y cuando con los cuidados necesarios.

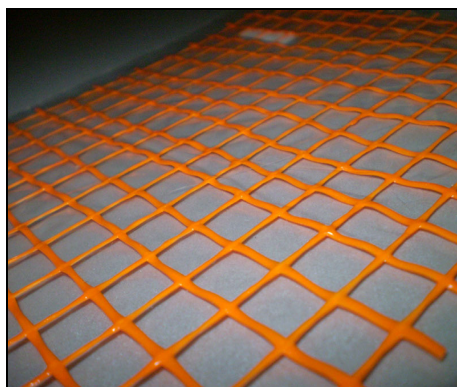


Figura 3.281 Malla de FRP para refuerzo.

La aplicación de mallas de fibra de vidrio, en rehabilitación y restauración, juega un papel muy importante ante la formación de fisuras y grietas.

Estas mallas de fibra de vidrio, son resistentes a la alcalinidad del cemento. Son introducidas en la capa fresca de mortero, yeso, pintura, etc., confiriendo a los revestimientos una gran resistencia a la fisuración y al cuarteamiento.

La colocación es muy sencilla, una vez se ha extendido una capa de material a la que quedará adherida gracias a su escaso peso. Seguidamente se aplicará una segunda capa del mismo material hasta conseguir el grueso deseado.

Aplicaciones:

Normalmente las aplicaciones más importantes se dan en reparación y rehabilitación de edificios, pero en obra nueva su uso está siendo importante. Es eficaz en zonas de encuentro entre materiales diferentes y en juntas entre placas (estructura y cerramiento, vértice de ventanas, piedra artificial y fábrica, junta entre placas de yeso, junta entre placas de aislamiento, etc.). Ver ejemplos:



Figura 3.282

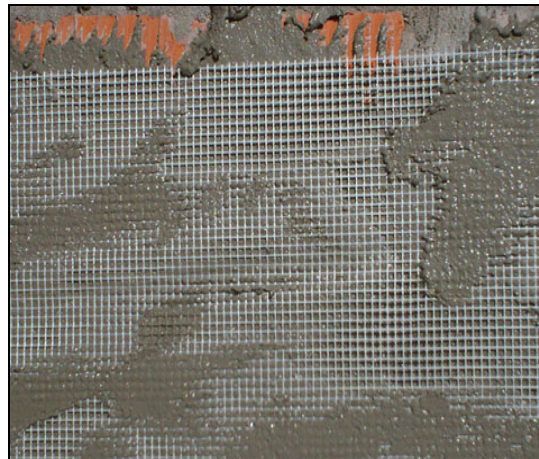


Figura 3.283



Figura 3.284

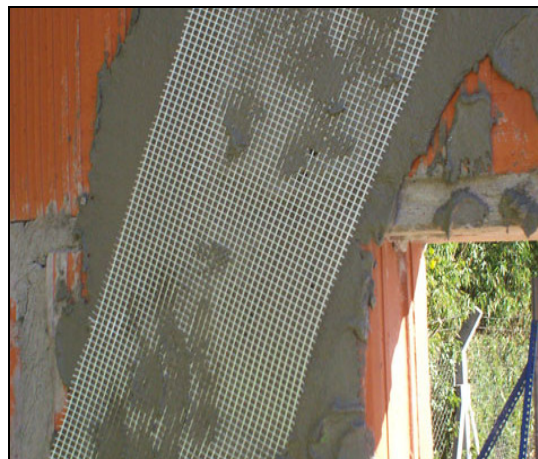


Figura 3.285

- APLICACIONES DE MATERIALES COMPUESTOS EN LA MADERA:

Durante siglos la madera, junto con las obras de fábrica en piedra y mortero, el material básico para la construcción de edificaciones de toda índole. Es por ello que, en la actualidad, existe un parque edificatorio con una presencia notable de estructuras de madera, tanto en los núcleos históricos como en los ensanches de ciudades y pueblos de finales del siglo XIX.

En la actualidad, hay una fuerte tendencia a incluir la estructura de madera como una parte importante del edificio a conservar. Pero esto no ha sido siempre así, anteriormente, el escaso conocimiento del material y su patología, hacía que en muchos casos se optara por sustituir completamente la estructura por otras nuevas de madera, hormigón o metálicas.

En el campo de la consolidación y el refuerzo de estructuras de madera está implantándose con gran éxito la aplicación de una tecnología de refuerzo basada en la utilización de los materiales compuestos de matriz polimérica reforzada con fibras de vidrio o carbono, embebidos en formulaciones epoxídicas, también en la inclusión de perfiles pultrusionados de materiales plásticos reforzados.

Este método consiste en la introducción de materiales compuestos, embebidos dentro de formulaciones epoxi en el interior de la madera, y/o en la sustitución de zonas degradadas por morteros epoxi, ver figura 3.286. De esta forma, es posible recuperar la capacidad resistente de las piezas que han sufrido daños y aumentar la capacidad portante de las que se ven sometidas a mayores exigencias resistentes con mínimas modificaciones del elemento.

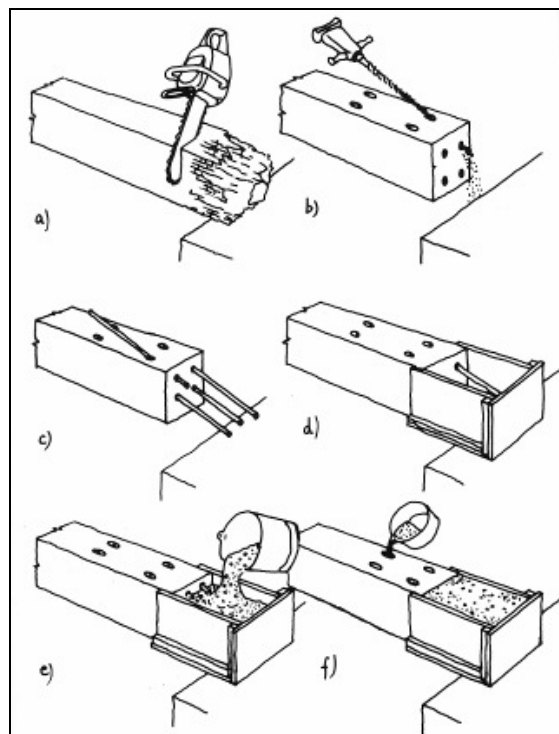


Figura 3.286 Sistema Beta, de refuerzo de apoyos en elementos de madera.

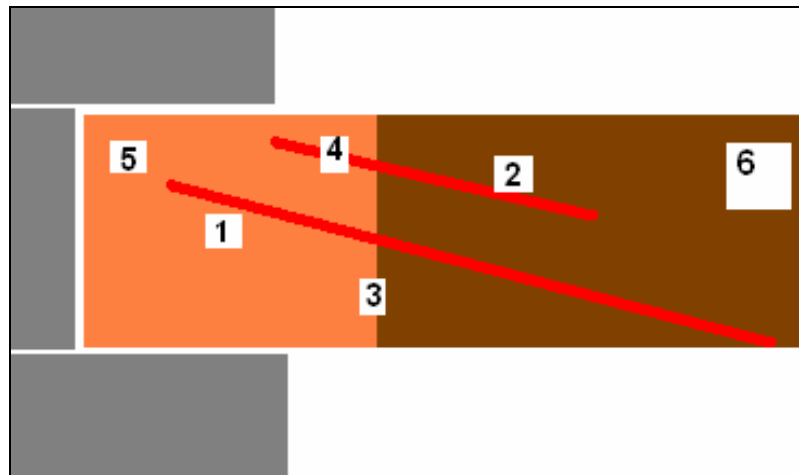


Figura 3.287 Esquema del sistema Beta.

1. Adherencia varilla-mortero epoxi (extracción).
2. Adherencia varilla-madera sana a través de resina (extracción).
3. Adherencia mortero epoxi-madera (cortante).
4. Resistencia a tracción pura de la varilla.
5. Resistencia a compresión y flexión del mortero epoxi.
6. Resistencia de la madera a esfuerzo cortante y flexión.



Figuras 3.288



Figura 3.289

En las primeras aplicaciones, la matriz de resina del material compuesto se encontraba reforzada con fibra de vidrio. Los primeros ensayos se realizaron en el año 1987 en Suiza, y la primera aplicación en la reparación de un puente antiguo de madera se realizó en el año 1991.

Otras técnicas son aplicables para la protección y conservación de las estructuras históricas, las nuevas tecnologías de rehabilitación deben respetar la compatibilidad integral además de que el empleo de los FRP, resinas, morteros, etc., deberá regirse por estos principios.

En el caso de refuerzo de estructuras de madera, la aplicación del FRP puede realizarse por aplicación interna o externa, siendo la externa el procedimiento común de utilización del FRP como sistema de refuerzo de las estructuras de madera.

En el caso de aplicación interna hay mayor complejidad pero proporciona importantes ventajas.

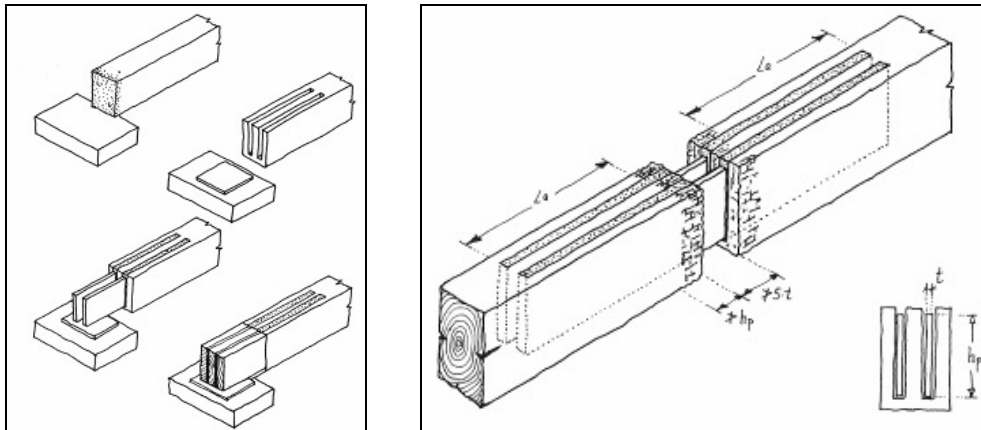


Figura 3.290 Consolidación con laminados internos de FRP. La recuperación de vigas rotas localmente, se realiza por consolidación con láminas de refuerzo introducidas en su sección.



Figura 3.291



Figura 3.292

REFUERZO EN VIGA DE MADERA MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE PERFILES DE M.C.



Figura 3.293 Viga para reforzar.



Figura 3.294 Medición de perfiles a colocar.



Figura 3.295 Limpieza de los perfiles.



Fig. 3.296 Perforando el perfil pultrusionado.



Fig. 3.297 Aplicación del adhesivo sobre perfil.



Fig. 3.298 Incorporación de perfil sobre viga.



Fig. 3.299 Incorporación de la resina.



Fig. 3.300 Introducción de tornillo en los perfiles.



Figura 3.301 Vistas del perfil incorporado a la viga y atornillado.

Posteriormente se termina el resto de forjado.

En el caso de aplicación externa, puede plantearse el empleo de láminas para la consolidación de vigas de madera, como en el caso de vigas de hormigón.

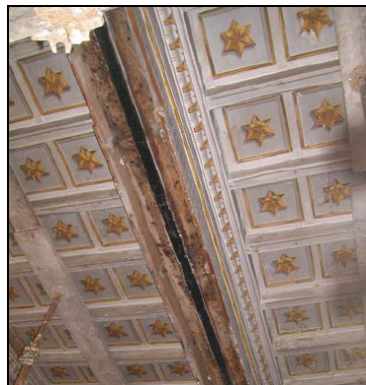


Fig.3.302 Vigas deterioradas. Fig.3.303 Aplicación del laminado. Fig. 3.304 Detalle del laminado.

3.2.5 - ELEMENTOS DECORATIVOS Y ARQUITECTÓNICOS.

3.2.5.1 - Aplicación para nuevos elementos decorativos y arquitectónicos.

3.2.5.2 - Restauración y reconstrucción de elementos arquitectónicos.

Otra alternativa en la aplicación de materiales compuestos y del material GFRC, compuesto de hormigón, yeso y refuerzo con fibra de vidrio, es ampliamente utilizado para la restauración, la replicación y fabricación de nuevas piezas ornamentales arquitectónicas como cornisas, columnas, balaustradas, cúpulas, esculturas, pilastras, remates, paneles frontales, molduras y otros materiales de construcción simulada. Plástico reforzado con fibra tiene una superficie lisa y se fabrica en colores frescos y vibrantes personalizado.

3.2.5.1 - APLICACIÓN PARA NUEVOS ELEMENTOS DECORATIVOS Y ARQUITECTÓNICOS.

En la mayoría de los proyectos de construcción, instalaciones de ocio, renovaciones urbanas y planes municipales, se está centrando cada vez más en el entorno construido. Y la integración de este material (GRC) está jugando un papel importante.

Las aplicaciones con este material son innumerables, pero se destaca su uso en mobiliario urbano (macetas, bancos, estatuas, señales, fuentes, etc.), elementos decorativos arquitectónicos (columnas, pórticos, balaustradas, etc.).

Por ejemplo para la fabricación de columnas, hace que el producto final resulte más ligero que un producto comparable de hormigón macizo. Véase algunos ejemplos:

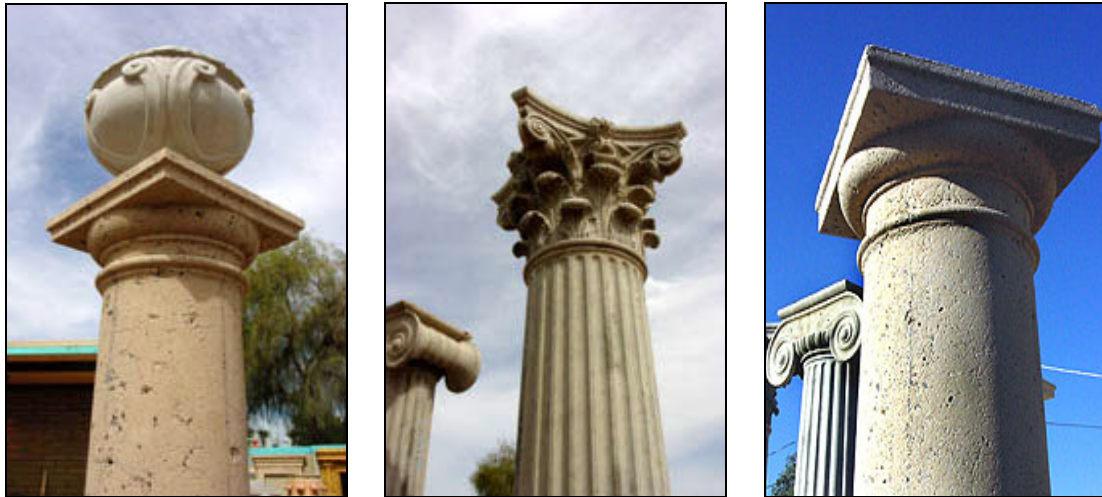


Figura 3.305



Figura 3.306

Algunos fabricantes realizan columnas con polímeros reforzados con fibra de vidrio, resultando elementos prefabricados adecuadas tanto para uso interior y exterior. La disponibilidad de acabados es enorme, con estilos y texturas muy diferentes, como los estriados, columnas de estilo toscano, etc. Véase los siguientes ejemplos:



Figuras 3.307 Vistas de varias columnas con distintos acabados.

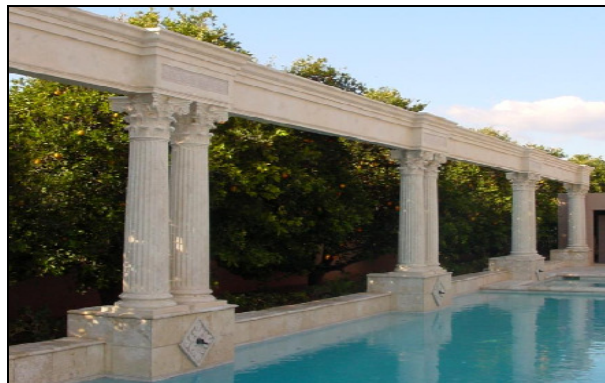


Figura 3.308 Pórtico.



Figura 3.309 Varias aplicaciones en mobiliario urbano: papelera, macetero y decoración.

Otros elementos decorativos son balaustradas, elementos almohadillados, dinteles de puertas y ventanas, etc.



Figura 3.310 Elementos decorativos.



Figura 3.311 Balaustradas.



Figura 3.312 Pórtico de entrada.



Figura 3.313 Dintel



Figura 3.314 Molduras imitación piedra



Figura 3.315 Marcos de ventanas.



Figura 3.316 Portal de entrada.

Otras aplicaciones, además muy funcionales, son los partesoles. Estos son elementos exteriores de protección, para cubrir la insolación directa sobre la vivienda, debido a una orientación directa del sol sobre los huecos de las ventanas.

Estos prefabricados están constituidos a base materiales compuestos, en resina termoestable reforzada de fibra de vidrio de tipo sándwich, y tienen la ventaja de no acumular calor. Estos diseños permiten la fijación directa de las piezas sobre la fachada de la vivienda, justo en la cota del dintel, sin necesidad de recurrir a fijarlas en cota de forjado.



Figura 3.317

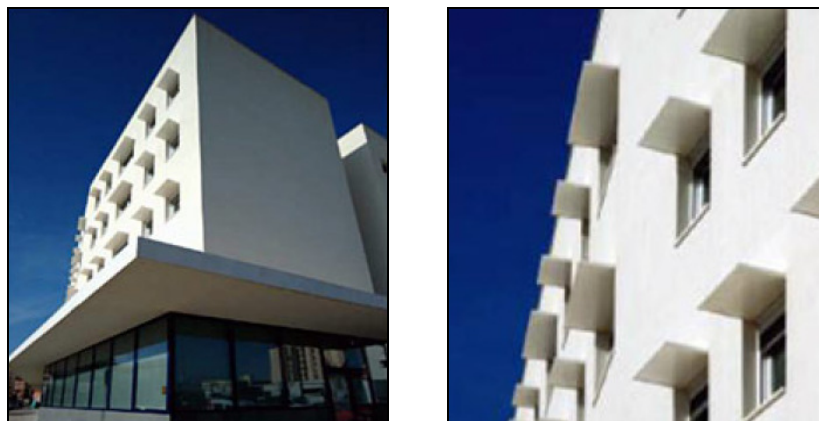


Figura 3.318

- COMPUESTOS PLÁSTICOS BASADOS EN MADERA, WPC.

Otro material que destaca para este tipo de aplicaciones son los WPC, productos constituidos por materiales celulósicos (madera o fibras de madera) y materiales termoplásticos, que se procesan mediante técnicas de transformación de plásticos.

En la actualidad los WPC se vienen usando en aplicaciones donde los requerimientos mecánicos no son demasiado elevados (no estructurales), debido a las limitaciones de sus propiedades mecánicas. Se utilizan en gran número de aplicaciones; construcción, jardinería y mobiliario de exteriores, decoración y mobiliario de interiores, sector industrial, infraestructuras y automoción.

Para elementos decorativos y de exteriores principalmente:

- Vallas y postes para vallas.
- Bancos, papeleras, mesas.
- Separadores de ambientes.
- Equipamiento de parques y zonas recreativas y de juegos.
- Señalización en rutas, senderos, etc.

Véase algunos ejemplos:



Figura 3.319



Figura 3.320



Figura 3.321



Figura 3.322

3.2.5.2 - RESTAURACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.

Para la reproducción y restauración, la aplicación de este material es muy valioso al ser moldeables, le hacen interesantísimo para reparar y reproducir elementos arquitectónicos.

Se muestra en las siguientes figuras, la reproducción en GFRC, de un elemento de voladizo de un edificio histórico y el estado en que se encontraba antes.



Figura 3.323 Vista anterior.



Figura 3.324 Vista reconstrucción.

Este material de hormigón reforzado con fibra de vidrio se ha convertido en la tecnología de elección cuando se trata de reconstrucciones y la única capaz de fabricar e imitar piezas de difícil moldeados y materiales tradicionales. Véase más ejemplos:



Figura 3.325 Vistas anterior y posterior a la reconstrucción de la pieza.

También es aplicado para la reproducción o réplica exacta del elemento, pero mejorando sus propiedades al utilizar estos materiales. Véase un ejemplo:



Figura 3.326 Vista de una columna y su reproducción con GFRC.

En un edificio histórico de San Sebastián, se realizó una sustitución de los domos antiguos, fabricados en zinc, por otros nuevos y constituidos íntegramente de materiales compuestos. Estos aportan muchas ventajas frente a la utilización de otros materiales para su reposición o réplica, como son; la ligereza de peso, la imposibilidad de desprendimiento de algunas de sus partes, la práctica inexistencia de estructura interna, la facilidad de transporte y rápida colocación. Las propiedades de los materiales compuestos hacen que este sistema sea ampliamente usado por los profesionales del sector.



Fig. 3.327 Vista del domo anterior.



Fig. 3.328 Vista de la réplica del domo.

Las fachadas contienen una gran variedad de elementos decorativos que pueden ser realizados en MC. Ante la dificultad de sus formas y gracias a las ventajas que presenta el material, este permite la obtención de piezas resistentes, ligeras, duraderas y de mantenimiento mínimo. Ejemplos son; cornisas, columnas, frontis, recercos de ventanas, etc.



Figura 3.329



Figura 3.330

Los alféizares son otros elementos que están utilizando de los materiales compuestos para su reconstrucción.



Figura 3.331 Ejemplos de alféizares.

3.2.6 - OTRAS APLICACIONES:

3.2.6.1 - UNIONES ESTRUCTURALES DE MC, EN EDIFICIOS INDUSTRIALES.

Para la unión de elementos estructurales basados en MC, existen varias posibles técnicas de unión. Las más utilizadas son las uniones adhesivas y las uniones mecánicas. Las mecánicas se subdividen en las atornilladas con tornillos metálicos y las atornilladas con tornillos de material compuesto. Además, cabe la posibilidad de crear uniones mixtas, como combinación de cualquiera de las técnicas anteriores, para mejorar las prestaciones de la unión.

- Uniones atornilladas con tornillos metálicos o con tornillos de composite.

En la mayoría de los casos, la realización de uniones atornilladas entre perfiles estructurales requiere de la aportación de elementos auxiliares, ya sean planos o angulares, para transmitir las cargas entre perfiles. Este punto es común para el uso de tortillería metálica y tortillería en composite.

Los elementos auxiliares, (figura 3.332), se encuentran disponibles en la mayoría de fabricantes de elementos pultruidos. De todos modos, la utilización de elementos similares metálicos es también posible. Además, al tratarse de un perfil hueco, para evitar problemas de aplastamiento local se recomienda macizar la zona de la unión atornillada. Esto se realiza mediante tacos introducidos en su interior, los cuales habitualmente son de madera o de PVC.

Los procedimientos de cálculo a seguir para el diseño de estas uniones, son los mismos en las uniones con tornillos metálicos y con tornillos composite. Solo debe considerarse las diferencias resistentes que posee cada material. Estas resistencias son proporcionadas normalmente por los fabricantes. Los tornillos composite ofrecen prestaciones muy inferiores a los metálicos, de modo que se convierten muchas veces en el elemento limitante de la unión. Además, los tornillos de MC necesitan de lubricante para proceder al enroscado de la tuerca.

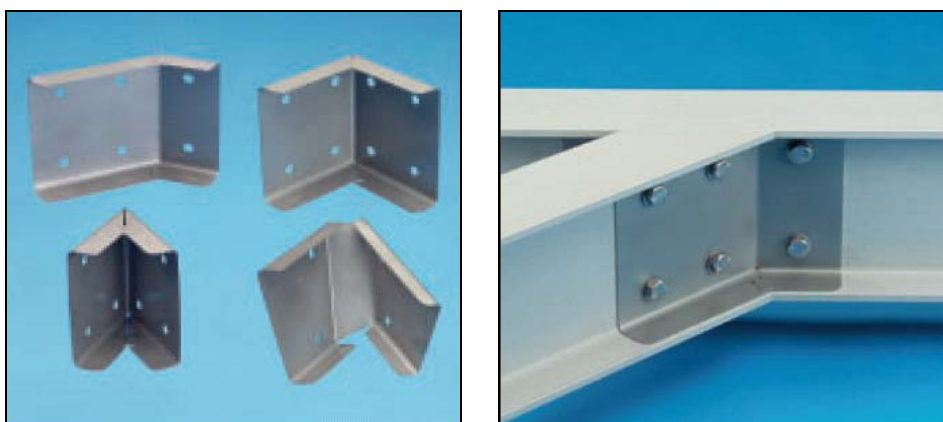


Figura 3.332 Elementos auxiliares de unión para perfiles fabricados en composite.

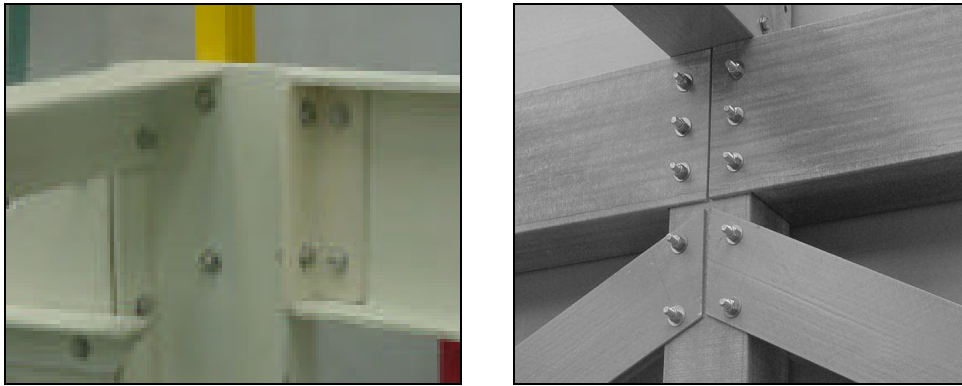


Figura 3.333 Detalles de uniones atornilladas en perfiles pultruidos.

Entre todas las uniones mecánicas, las atornilladas son las más utilizadas por su facilidad de puesta en obra y por ser las únicas que permiten un fácil desensamblado de la estructura (figura 3.333). Ésta última característica, combinada con el reducido peso de las estructuras de materiales compuestos, puede dar paso a la aparición de un nuevo mercado de estructuras desmontables.

Aunque la aplicación de esta técnica en estructuras de edificios de materiales compuestos es muy reciente, existen otros sectores que llevan más tiempo desarrollándola y cuyos estudios son de gran ayuda para adaptarlos a edificios. Estos sectores son el naval, el aeronáutico, el de la automoción y el aeroespacial.

- Uniones adhesivas:

Del mismo modo que en las uniones atornilladas, las uniones adhesivas requieren normalmente del uso de elementos auxiliares planos o angulares, para transmitir las cargas de un elemento estructural a otro (figura 3.334).

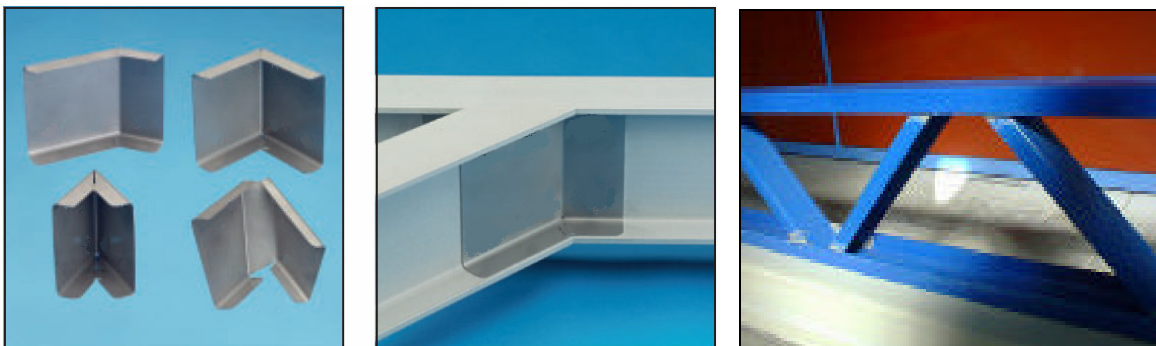


Figura 3.334 Elementos auxiliares para unión de perfiles de MC en uniones adhesivas.

- APLICACIÓN: PUENTE-PASARELA SOBRE LINEA DE FERROCARRIL DEL A.V.E, LÉRIDA.

Este puente, localizado en Lérida, es el más largo de Europa en su categoría. Sus dimensiones son de 38 metros de longitud, 3 metros de ancho y 16 metros de altura. Sus elementos estructurales, a excepción de los pilares principales y la cimentación, están formados por perfiles de viniléster reforzado con fibra de vidrio (MC). La coloración azul es meramente decorativa, ya que los elementos que lo constituyen son altamente resistentes a la intemperie.

Su construcción se realizó íntegramente en el suelo, y posteriormente elevada al completo y colocada de una pieza sobre la estructura principal. Su construcción fue muy rápida, teniéndose que interrumpir la circulación de trenes tan sólo durante 2 horas.



Figura 3.335 Puente del A.V.E, (Lérida).



Fig. 3.336 Vista del puente.



Fig. 3.337 Detalle del atornillado.

La solución presenta como ventajas fundamentales, su ligereza, la no interferencia magnética con la superestructura del ferrocarril y un mínimo coste de mantenimiento frente a una solución convencional en acero u hormigón.



Figura 3.338 Vista inferior de la pasarela.



Figura 3.339 Imagen de la pasarela sobre la línea del AVE, a su paso por Lleida.

- APLICACIÓN: EDIFICIO REALIZADO INTEGRAMENTE DE MATERIALES COMPUESTOS.

Se trata del “The Eyecatcher Building” (figura 3.340), el edificio de viviendas y oficinas con estructura composite más alto realizado hasta el momento. Fue construido en Swissbau para su presentación, y posteriormente desmontado y vuelto a construir en Basel, donde actualmente se utiliza como edificio de oficinas. Sus dimensiones son 15m de altura, con una planta de 10x12 m².



Figura 3.340 The Eyecatcher Building.



Fig. 3.341 Detalle exterior del edificio.



Fig. 3.342 Detalle interior del edificio.

La estructura está realizada por perfiles pultrusionados de material compuesto, con uniones atornilladas y adhesivas. Ver figura 3.343 y 3.344.

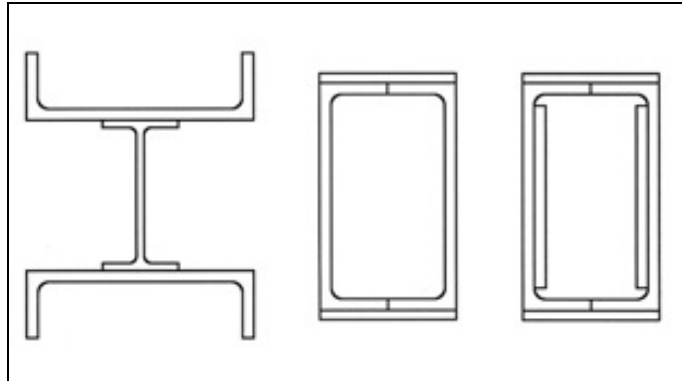


Figura 3.343 Detalle de la sección de perfiles utilizados.



Figura 3.344 Montaje de la estructura de la casa.

Los elementos de carpintería y marcos de fachada están formados de materiales compuestos (PRFV), que gracias a su capacidad de aislamiento térmico superior a la de los perfiles de acero, reduce el tamaño de las capas de aire necesarias y no forman puentes térmicos (figura 3.345).

Las propiedades más destacadas del uso de estos perfiles de refuerzo son la gran capacidad aislante, y por tanto reducido valor de conductividad térmica, su alta resistencia y rigidez, la ausencia de agua condensada, la resistencia total a la corrosión, la libertad de diseño de los perfiles y la alta resistencia al arranque, ofrece seguridad anti robo.

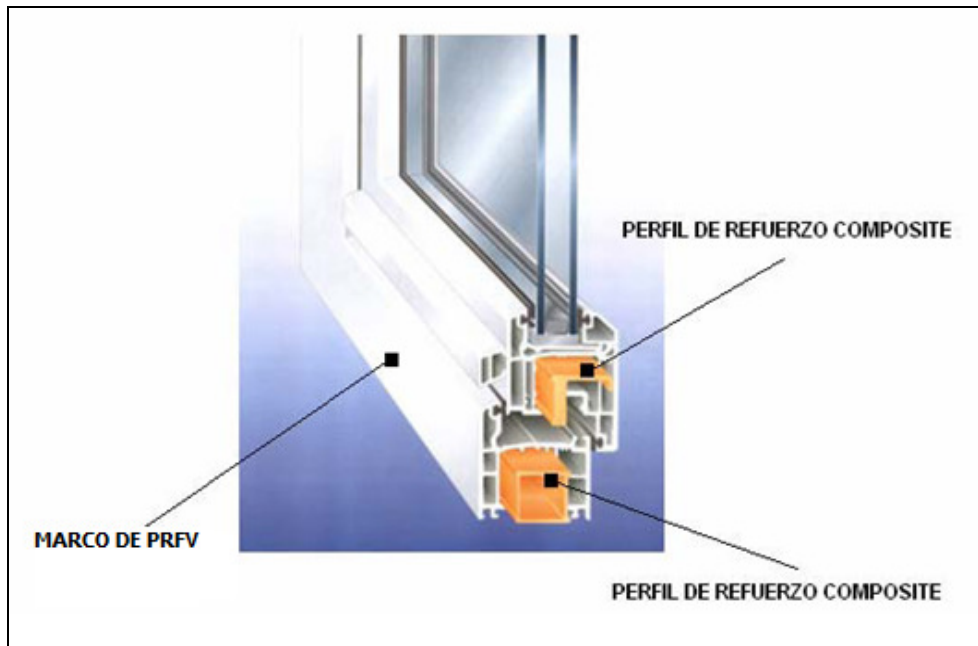


Figura 3.345 Perfiles de refuerzo de MC para marcos de PVC.

Los pavimentos de materiales compuestos están formados por placas planas de poliéster o viniléster reforzadas con fibra de vidrio, cuyos acabados proporcionan superficies antideslizantes (figura 3.346).



Figura 3.346 Placas de MC para pavimentos.

3.2.6.2 - FORJADOS CON MATERIALES COMPUESTOS.

En la construcción industrial, son varios los tipos de forjados disponibles en MC, la diferencia principal es la capacidad de carga, según tipo. Así pues, según se requiera un forjado más o menos resistente, se realiza la elección.

Las aplicaciones de los forjados de materiales compuestos, van desde suelos industriales tipo emparrillado, hasta forjados especialmente resistentes para puentes de vehículos. Los forjados disponibles en materiales compuestos, se clasifican según su capacidad estructural:

- Forjados de baja resistencia.
- Forjados de resistencia media.
- Forjados de resistencia elevada.

- Forjados de baja resistencia:

Los forjados de baja resistencia son del tipo emparrillado o “grating”. Están constituidos por resinas de poliéster, viniléster o fenólicas, todas ellas reforzadas con fibra de vidrio en procesos de pultrusión. La fibra de vidrio está dispuesta en forma longitudinal, para una mayor resistencia transversal. Además, dispone de una película protectora que mejora notablemente las propiedades contra la corrosión. Los emparrillados están disponibles en gran variedad de colores y acabados, y los perfiles que los componen pueden ser de sección “I” o de sección “T”.

Las aplicaciones más comunes son aquellas en las que el ambiente es muy agresivo para la utilización de emparrillados metálicos; escaleras, suelos industriales de plataformas, pasarelas, etc.

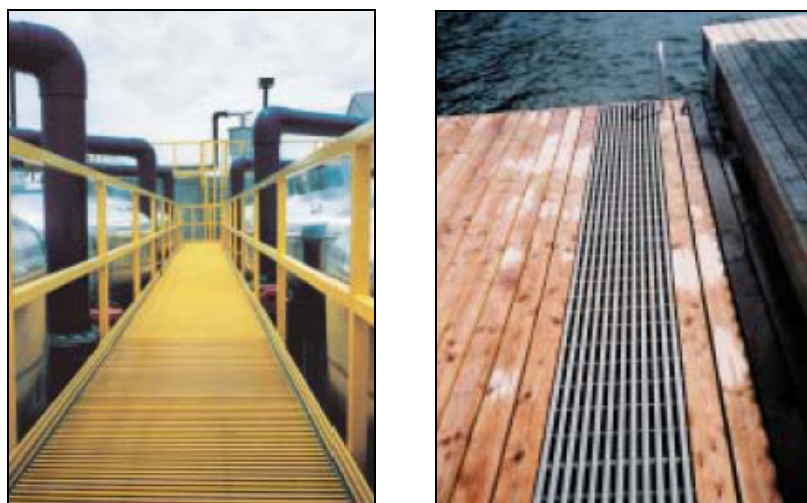


Figura 3.347 Emparrillados o forjados de MC de baja resistencia.

- Forjados de resistencia media:

Se trata de sistemas de paneles para proporcionar superficies sólidas y continuas, disponibles en anchuras de 30 y 60 cm. El objetivo de este producto es el de sustituir los equivalentes de madera o metal en ambientes especialmente corrosivos, o en los que el mantenimiento excesivo supone costes elevados. Estos forjados son utilizados en aplicaciones eléctricas debido a su escasa conductividad y a su nula inflamabilidad.

Otras características a destacar de estos forjados son la resistencia mecánica elevada, el peso reducido, la facilidad de instalación, el escaso mantenimiento y la facilidad del transporte.

Sus aplicaciones se centran en suelos para torres de refrigeración, cubiertas para control de olores en depuradoras, suelos para aceras elevadas, forjados temporales, entre otras.

La resina normalmente utilizada es la de poliéster, retardante de llama, y auto extingible. Además, puede estar rodeada de una película protectora contra los rayos UV en las zonas expuestas. Las longitudes de los paneles son prácticamente ilimitadas (figura 3.348).



Figura 3.348 Paneles de MC para forjados de resistencia media.

- Forjados de alta resistencia (Superdeck):

Este tipo de forjados, que llegan a ofrecer resistencias muy elevadas, se utilizan sobretudo en puentes para vehículos. Las dimensiones de las placas disponibles son prácticamente ilimitadas, debido a su proceso de fabricación, la pultrusión. La variante de forjado más aplicado es el que se conoce como “Superdeck”.

Los “Superdeck” se forman de placas provenientes de la unión adhesiva transversal de dos secciones diferentes de perfiles tubulares, normalmente de viniléster reforzado con fibra de vidrio (figuras 3.349 y 3.350).

El grosor de estas placas se ve limitado por el proceso de pultrusión, que puede llegar a valores muy elevados, y el ancho de la placa es totalmente ilimitada (limitada por su transporte), ya que consta de la unión de perfiles tubulares.



Figura 3.349 Placas de forjado de alta resistencia "Superdeck".

Las propiedades más destacadas de este tipo de forjados son la facilidad de montaje, mantenimiento inexistente, alta resistencia, reducido peso y fácil transporte.



Figura 3.350 Placas de forjado de alta resistencia "Superdeck".

A continuación se muestran algunos detalles de este tipo de placas:

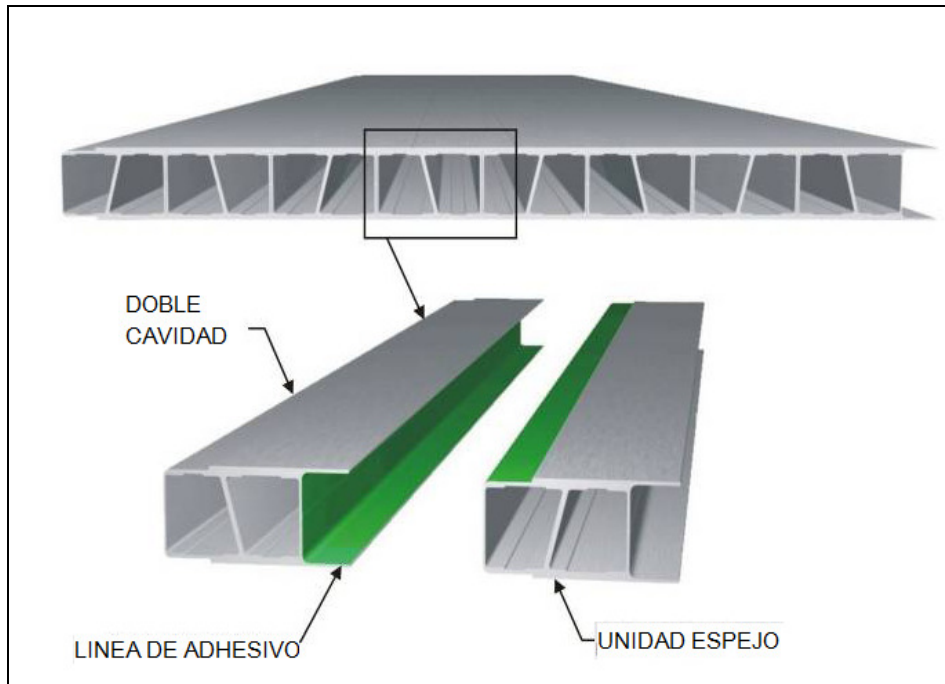


Figura 3.351 Detalle de placa "Superdeck"

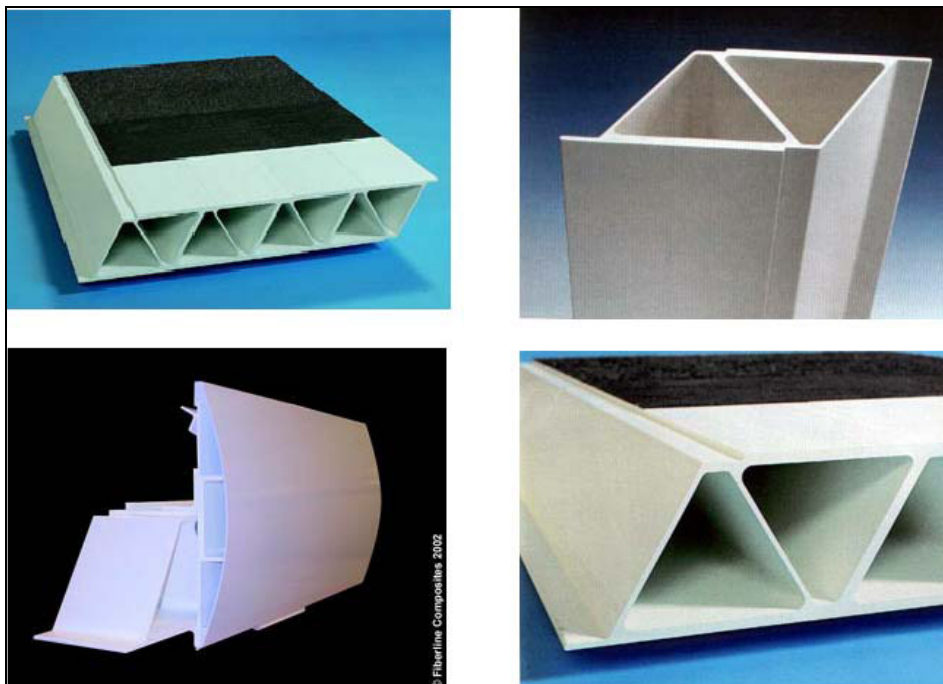


Figura 3.352 Pultrusionados de materiales compuestos, casa Fiberline AS.

- APLICACIÓN: SUB-ESTRUCTURA Y PLATAFORMA DE PUENTE, UNIVERSIDAD DE WEST, VIRGINIA (USA).

Para la construcción de este ejemplo, en Estados Unidos, se emplearon forjados de alta resistencia tipo Superdeck, largueros, pilotes y pequeñas columnas.

El motivo del empleo de materiales compuestos fue que éstos, no se corroen como el metal, no se agrietan como el hormigón y no se pudren como la madera. Con la utilización de MC se consigue una alta relación resistencia peso, a través del uso de una sección transversal óptima. De esta manera, la plataforma en material compuesto mostrada en la siguiente figura, se un tiempo escaso inferior a seis horas.

Las siguientes figuras muestran la colocación de plataformas de alta resistencia durante la construcción:



Figura 3.353



Figura 3.354

3.2.6.3 - ÚLTIMAS CONSTRUCCIONES SINGULARES.

- APLICACIÓN: PASARELA REALIZADA CON FIBRA DE CARBONO, MADRID, ESPAÑA.

La pasarela de 45 m de longitud ejecutada en fibra de carbono, está situada en la Casa de Campo de Madrid. Esta pasarela destaca por su bajo peso y facilidad de montaje, para el cual tan solo se necesitó una grúa.

El proyecto consiste en unas piezas en forma de “U”, de fibra de carbono (figura 3.355 y 3.356), que se suman, unas otras, como si de un puente romano se tratara. Para darles consistencia y tensión a compresión, se le colocan como acabado interior, unas piezas de hormigón prefabricado en forma también de “U”. Ver figura 3.357.



Figura 3.355



Figura 3.356



Figura 3.357

- APLICACIÓN: “CHANEL MOBILE ART PAVILION”, EN PARIS

Hoy día, “Chanel Mobile Art Pavilion”, es una de las obras más recientes que se puede encontrar, que ha hecho utilidad de materiales compuestos avanzados. Se trata del pabellón “Chanel Mobile Art Pavilion”, que recoge el trabajo de la firma de parisina Chanel. El edificio es el resultado de una idea de gran complejidad espacial y constructiva, que ha podido materializarse gracias a nuevos materiales, como la fibra de vidrio. Los paneles de fachada, de curva compleja, están fabricados a partir de FRP, un compuesto que se hace necesario para el revestimiento de la fachada exterior del edificio.



Figura 3.358



Figura 3.359



Figura 3.360



Figura 3.361