

2. El uso de materiales compuestos en la construcción

2.1. Aplicaciones generales

Según el estudio “*Materiales Compuestos*” realizado por Nodal Consultants y publicado en el 2002 en la revista *Le 4 Pages des Statistiques Industrielles* del Ministerio de Economía, Finanzas y de Industria de Francia, el mercado mundial de materiales compuestos (MC) ha crecido desde 1994 hasta el año 2000 en el 5,7% anual en cantidad. En el año 2000 se produjeron, a escala mundial, siete millones de toneladas, correspondiendo más del 95% a compuestos de gran difusión. Esta producción podría alcanzar 10 millones de toneladas en el año 2006. Dentro de los diferentes tipos de MC, con respecto a la matriz, el crecimiento es mayor para compuestos termoplásticos que para compuestos termoestables: el 9% y el 3% anual, respectivamente.

Los compuestos termoplásticos aparecieron a principios de los años ochenta. Son más recientes y también más prometedores. Sin embargo, los materiales compuestos termoestables representan aún más de las dos terceras partes del mercado (AVK-TV, 2001).

En la figura 2.1 se puede apreciar la situación del mercado mundial de materiales compuestos por zonas geográficas (Nodal Consultants, 2002).

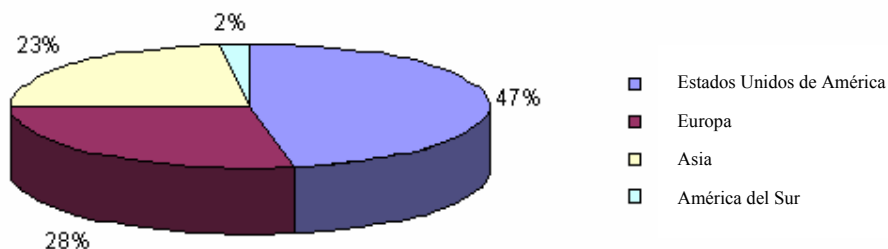


Figura 2.1. Situación del mercado mundial de materiales compuestos por área geográfica

El mercado norteamericano es, con gran diferencia, el más importante representando el 47% de la transformación mundial de MC (3,4 millones de toneladas). A continuación aparece Europa con el 28% (2 millones de toneladas) seguida muy de cerca de Asia con el 23% (1,6 millones de toneladas). El resto de zonas geográficas quedan muy por debajo de las mencionadas. Sin embargo, el crecimiento del mercado en Asia y Europa es superior al de Estados Unidos (el 7% y el 4,5% anual respectivamente). El mercado suramericano es muy dinámico, con un incremento anual superior al 8%, si bien es globalmente poco destacable (2% del consumo mundial).

Con el 8% de la producción europea, la producción española de materiales compuestos se sitúa detrás de la alemana (28%), italiana (18%) y francesa (15%) (ANAIP, 2004). Esta situación se observa en la figura 2.2. De los tres primeros países europeos, el mercado francés alcanza más de 2.000 millones de Euros, o sea el

18% de la producción europea. Francia produce mayor cantidad de materiales compuestos de altas prestaciones que sus socios europeos. Debido a que los precios de estos materiales de altas prestaciones son más altos (entre 9 y 38 euros por kilogramo) que los de los materiales de gran difusión (entre 3 y 6 euros por kilogramo), provoca que Francia sea el tercer país europeo desde el punto de vista de producción de materiales compuestos, mientras que ocupa la primera posición a nivel de volumen de inversión económica.

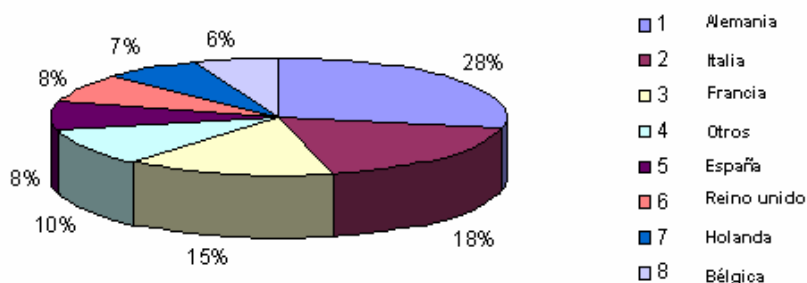


Figura 2.2. Situación del mercado de materiales compuestos en Europa, por área geográfica (Nodal Consultants, 2002)

Son varios los campos de aplicación de los MC en la sociedad. Los principales se indican a continuación (Miravete, 1995; Hull, 1996):

- Electrónica: La mayoría de equipos eléctricos y electrónicos que se utilizan actualmente no serían práctica ni económicamente posibles sin materiales compuestos.
- Construcción: La facilidad de montaje y durabilidad hace que los materiales compuestos, dentro de este campo, encuentren cada vez más aplicaciones.
- Medicina: Los profesionales de este campo dependen de los materiales compuestos, por ejemplo bolsas intravenosas, implantes de silicona, etc. Los distintos tipos de materiales permiten mejorar y en algunos casos prolongar vidas, como es el caso de corazones artificiales, los tubos de aorta, etc.
- Transporte: Para los automóviles y camiones de hoy, los materiales compuestos ofrecen una amplia variedad de beneficios, incluyendo durabilidad, resistencia a la corrosión, ligereza, cristales de seguridad y depósitos de combustible entre otros.
- Aeronáutica: Durante los últimos 50 años, la tecnología 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 (Cheremisinoff, 1995).
- Ocio: La amplia gama de propiedades disponibles en estos materiales, los ha hecho formar parte de todo tipo de deportes y equipos acuáticos, terrestres y actividades aéreas. Las ruedas de los patines, que son abrasivas, llevan poliuretano resistente. Las raquetas de tenis se modelan utilizando plásticos reforzados con fibras de vidrio, aramida, carbono, etc. Los esquís están formados por MC laminados reforzados especialmente para eliminar las vibraciones a altas velocidades. Una alta tecnología avanzada como esta es la que se aplica a las tablas de surf, sticks de hockey, veleros, canoas y otros equipos.
- Embalajes: Cuando el problema de los embalajes es la resistencia, normalmente los materiales compuestos son la respuesta, algunas veces la única solución.

- Otros mercados: Los materiales compuestos forman parte de todos los mercados gracias a la gran 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.

La distribución sectorial del mercado de los materiales compuestos (figura 2.3) está liderada por el sector del automóvil, el cual consume más de la cuarta parte a nivel mundial (31% en valor). Los constructores de automóviles tienen imperativos de costes importantes. Por tal razón utilizan masivamente compuestos de gran difusión con resina poliéster reforzada con fibras de vidrio. Estos materiales son menos onerosos que los compuestos de altas prestaciones. Se utilizan para reforzar paneles de revestimiento, deflectores, elementos de carrocería, elementos de defensa y puertas traseras. Son fáciles de mantener, ofreciendo una gran libertad a los diseñadores.

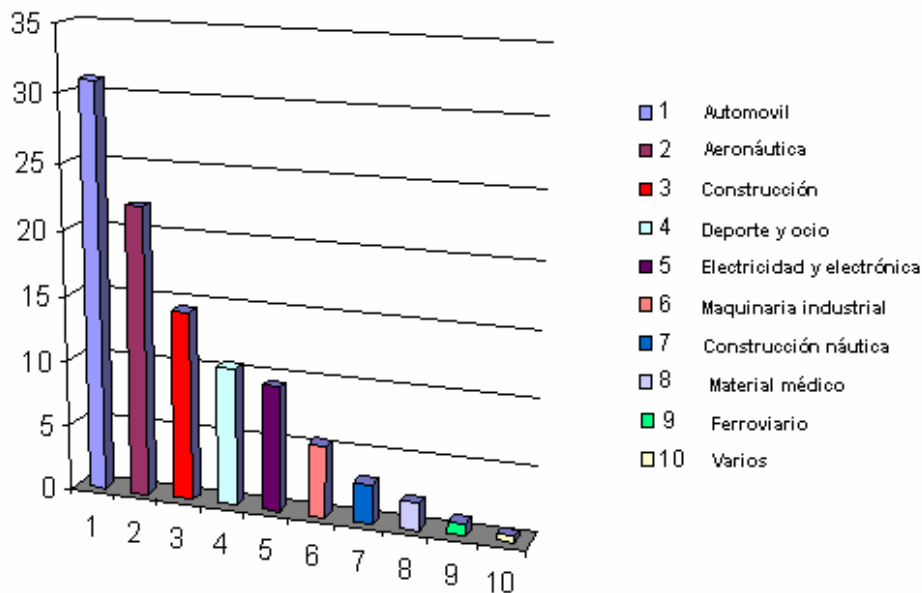


Figura 2.3. Distribución sectorial (en valor) de la aplicación de materiales compuestos (Chalaye, 2002)

La aeronáutica y el ámbito espacial utilizan materiales compuestos de alto rendimiento. Los costes son altos: pueden alcanzar 38 Euros por kilo en caso de utilizar masivamente refuerzos con fibra de carbono. El sector aeronáutico constituye una importante parte del mercado en valor de los compuestos (22%), mucho menor en volumen (aproximadamente el 4%). En la aeronáutica, los MC se han impuesto para fabricar piezas de estructura primarias, gracias a sus prestaciones, sus cualidades de ligereza y su flexibilidad de forma. Son ejemplos de ellos el tramo central de aviones, vigas ventrales que rigidizan el fuselaje del A 340/600, alas extremas del ATR 72, etc. Los materiales compuestos también tienen muy buena resistencia a la corrosión, lo cual reduce en consecuencia los gastos de mantenimiento. Sin duda que la industria aeronáutica, seguida a cierta distancia por la automoción, ha sido la líder en investigación y desarrollo de materiales compuestos. En esta industria imperan las propiedades de los materiales por encima (en muchas ocasiones) de su coste, lo que permite ciertas innovaciones que en otros sectores serían impensables (Chalaye, 2002).

El sector de la construcción eléctrica y electrónica representa el 9% en valor del mercado mundial de las aplicaciones de materiales compuestos. Este sector también utiliza en gran cantidad MC de gran difusión que corresponden a necesidades de seguridad: aislamiento eléctrico y transparencia a las ondas electromagnéticas. Estos materiales sirven para realizar equipos fiables y de mayor vida útil: armarios, disyuntores, cajas de contadores, torres o antenas parabólicas (CEP, 2004).

La industria de los deportes y ocio absorbe el 11% del mercado de materiales compuestos en valor (8% en volumen). Ejemplos de aplicaciones son esquís acuáticos y de nieve, planchas para esquiar en la nieve, tacos y carros de clubes de golf, varas de pesca, piscinas. La utilización de materiales compuestos en la producción de estos productos proporcionan beneficios tales como: durabilidad, ligereza, elasticidad, flexibilidad y resistencia a la corrosión.

Algunos ejemplos recientes y más concretos de aplicaciones de los materiales compuestos en el mundo de la industria en general (García, 2002) se listan a continuación:

- El Avión de Combate Europeo EFA tiene un 40% de su estructura y el 70% de la superficie exterior en fibra de carbono.
- En el avión F-22 el 39% es titanio, el 24% son materiales compuestos y el 16% aluminio. Los materiales compuestos se utilizan para fuselaje, puertas, alas y numerosos paneles sándwich.
- El nuevo avión A-380 incorporará componentes de fuselaje fabricados en “Glare” (aluminio reforzado con fibra de vidrio).
- El X-37 es una lanzadera reutilizable diseñada para vuelos en órbita y en fases de reentrada (NASA, Boeing). Viajará a velocidades 25 veces superiores a la del sonido. El fuselaje está fabricado en carbono/bismaleimida, ya que debe soportar temperaturas superiores a 232°C.
- El Visby-Class Corvette (barco de la marina sueca), hace uso extensivo de la fibra de carbono. De hecho el casco está fabricado de sándwich con un núcleo de PVC y pieles de fibra de carbono y resina de viniléster.
- El bastidor del Mercedes SLR está fabricado en fibra de carbono/epoxi.
- El bastidor y la carrocería del Cadillac 100 están fabricados en fibra de carbono/epoxi mediante la tecnología del pre-preg.
- Las palas de aerogeneradores están experimentando importantes mejoras con la introducción de la fibra de carbono (permite llegar a 90 m de diámetro).

Este listado es sólo una muestra de las aplicaciones industriales actuales de los materiales compuestos, pero es suficiente para percatarse de la diversidad, modernidad y potencial de las mismas.

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 en la construcción: proyectistas, contratistas, operarios e incluso los propios clientes. Según las estadísticas, este problema se acrecienta en el mercado español. El uso de materiales compuestos en la construcción es mucho menor respecto a lo que se observa en otros países del mundo. La construcción sólo representa un pequeño porcentaje del mercado español de materiales compuestos en volumen (13%), contra el 35% en Japón, el 32% en Brasil y el 30% de promedio mundial (ANAIP, 2004). La flexibilidad de

las formas, la resistencia a las variaciones climáticas, el aislamiento térmico y fónico, la resistencia al fuego de algunos materiales son, no obstante, ventajas muy apreciables (Arizmendi, 1996). Los usos en el sector pueden ser variados: paneles de decoración, rehabilitación de edificios y obras de fábrica, formas complejas de gran tamaño (cuartos de baño monobloque), vigas y piezas estructurales, elementos de tejado, etc. Por otra parte, la resistencia a las vibraciones de los materiales compuestos con fibras de carbono y su alto potencial de absorción energética justifican su empleo en zonas sísmicas (Revuelta, 2004-1).

Según diversos autores el potencial crecimiento del uso de materiales compuestos en general es muy elevado (p. ej el 50% en cinco años a partir del 2002 según Chalaye, (2002)). Sin embargo, este crecimiento depende de la habilidad por parte de la industria de fabricación de materiales compuestos de adaptarse a las exigencias cambiantes del mercado. Cualquier crecimiento pasa por integrar y satisfacer los imperativos de un desarrollo sostenible, con lo que el aspecto de la revalorización de estos materiales cobra una importancia especial. Por ejemplo, se está trabajando y forzando al mundo de la automoción hacia un uso cada vez mayor de materiales para vehículos que posteriormente puedan ser reciclados (Bos, 2004). Actualmente, no existe una solución técnica plenamente operativa y económicamente viable para reciclar los compuestos utilizados en el sector del automóvil. El problema principal radica en que las matrices de estos materiales compuestos son esencialmente termoestables. Ello supone un reto para el sector, donde es importante la movilización de todos los actores y de sus esfuerzos de investigación y desarrollo (Muzzy, 2005). Algunas iniciativas industriales se desarrollan en Europa, principalmente “Mecelec Composites et Recyclage” en Francia, operador de la más importante planta de reciclado de materiales compuestos, y “Ercom” en Alemania (AVK-TV, 2001).

Técnicamente, la valorización de los materiales termoestables puede pasar por la trituración y molienda para obtener granulados (polvos) y fibras. Los polvos son usados como cargas de bajísimo valor añadido, en MC, mientras que las fibras pueden ser integradas como refuerzos de cementos y asfaltos con un mejor retorno económico. Otra posible vía pasa por la incineración en las plantas de cemento (Linazisoro, 2000).

De todas maneras, los imperativos de reciclaje deberían favorecer el uso de materiales compuestos con matrices termoplásticas, los cuales se pueden reprocesar de manera mucho más fácil. En el mercado de los compuestos, se puede estimar que el 70-75% corresponde a compuestos termoestables y el 25-30% son compuestos termoplásticos (Miravete, 2000). Sus distribuciones geográficas son destacadamente diferentes:

- Termoestables: 55% en América del Norte, 20-25% en Europa e 20-25 en Asia.
- Termoplásticos: 35% en Europa, 30-35% en América del Norte y 30% en Asia.

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 materiales tradicionales como el acero, que son objeto de normas nacionales o europeas (Martínez, 2000).

El tejido industrial relacionado con la fabricación de materiales compuestos está constituido sobre todo por pequeñas y medianas empresas. Entre proveedores de materias primas de gran tamaño que aplican altos

precios con reducidas cantidades compradas y grandes clientes que pueden imponer sus exigencias (imperativos cruzados entre proveedores y clientes), estas empresas de pequeño y mediano tamaño y además dispersas, sufren importantes presiones sobre los precios. Para hacer frente a ello y acceder a mercados europeos, estas empresas deben desarrollar estrategias de valorización, innovación y asociación industrial. Algunas innovan poniendo en el mercado nuevos productos: resinas y nuevos semiproductos más seguros y más rápidos. Otros desarrollan nuevos procedimientos poniendo a punto métodos o herramientas más rápidas y más potentes. Finalmente, las empresas deben innovar poniendo en práctica herramientas de diseño eficaces. Sin embargo, el reducido desarrollo en España de los procesos de fabricación en general y de la pultrusión en particular, constituyen un hándicap notable para la expansión de estos materiales, particularmente para el mercado de la construcción (Revuelta, 2004-1).

La problemática española se concreta mediante el registro de patentes: en el 2000 se registraron por parte de los laboratorios públicos o privados españoles unas decenas de patentes relacionadas con materiales compuestos, contra 800 en EE.UU., 200 en Alemania y 200 en Japón. Evaluar las prestaciones de los materiales compuestos, desarrollar los medios y procedimientos para caracterizar los productos, y validar las tecnologías de reciclaje de los materiales compuestos, son tres retos importantes de la investigación y desarrollo. Para las empresas del sector, el trabajo en asociación es necesario para hacer frente a tales retos (Chalaye, 2002).

Dentro de los materiales compuestos, los más utilizados son, sin lugar a dudas, los formados por refuerzos de fibra de vidrio y fibra de carbono. 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 (elementos no estructurales) (Revuelta, 2004-2). Por este motivo se introduce de forma muy superficial la situación en el mercado de los materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio (figura 2.4).

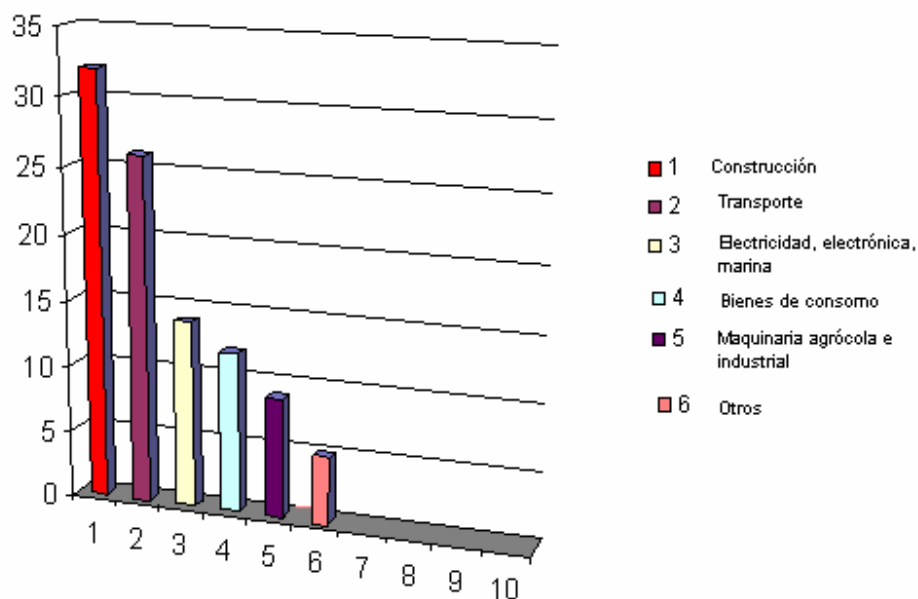


Figura 2.4. Situación sectorial de la aplicación de materiales compuestos con refuerzos de fibra de vidrio (Bos, 2002)

La figura 2.4 permite apreciar que la construcción y las obras públicas son los mayores campos de aplicación de refuerzos de fibra de vidrio (31%), seguidos de los transportes (26%). Las aplicaciones eléctricas y electrónicas representan una media mundial del 13% (en Asia están en torno del 30% debido a la fuerte industria de electrónicos como por ejemplo placas de circuitos impresos). Los bienes de consumo representan una media mundial del 13%, si bien en América del Norte este índice queda en torno del 20%. A equipamientos industriales y agrícolas corresponden el 9%, aunque esta aplicación es mayor en Europa (aproximadamente el 15%) debido al gran uso de sus compuestos en tanques, silo, tuberías, etc.

Los principales mercados geográficos de aplicaciones de refuerzos de vidrio son América del Norte (47%), Europa (28%) y Asia (23%). Asia es considerada una región de rápido desarrollo porque algunos países como Corea y China también están entrando en el mercado (Miravete, 2000-2).

2.2. Aplicaciones en la construcción

Comparado 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 podía esperar. Se trata de un sector cuyo conservadurismo histórico se ha visto reflejado numerosas veces cuando se han tratado de introducir 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 material compuesto, es siempre una señal de que la industria de estos materiales va siendo aceptada poco a poco por el sector. Las aplicaciones de los materiales compuestos en el mercado de la construcción varían desde piezas para baños/bañeras y claraboyas, hasta paneles decorativos, paneles para muros cortina y materiales de fachadas (entre otros). Estos materiales son ideales para su uso en el mercado de la construcción 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 (Recasens, 2002).

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 en 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.). La renovación de fachadas con la utilización de materiales compuestos de fibras de vidrio contribuyen para mejorar la apariencia de edificios, aislantes externos, coberturas de fachadas, donde la estabilidad dimensional y prevención contra hendiduras se hacen necesarios (Mansó, 2004).

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 aplicaciones exteriores, también existen gran número de aplicaciones para elementos interiores de edificios (Miravete, 2000-1):

- 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 materiales compuestos de vidrio y cemento.
- Biombos y divisorias
- Cintas para paredes secas
- Divisiones de materiales compuestos de cemento y vidrio
- Paneles de materiales compuestos (aislantes en ambos lados, tratados con resinas fenólicas)
- Piezas sanitarias (bañeras, bidé, duchas, piletas, vaso sanitario)
- Asentamiento del piso (pisos rígidos y flexibles)
- Ítems funcionales (cajas de correos, cajas de medición)
- Ítems decorativos

Para la reconstrucción o para la creación de nuevas infraestructuras, los productos fabricados de materiales compuestos traen numerosas ventajas para diversas aplicaciones, incluyendo alta durabilidad, peso reducido, resistencia a la corrosión, bajo costo de manutención y de instalación, estabilidad dimensional y flexibilidad en el diseño.

Sin duda, a nivel internacional es en Estados Unidos donde más se ha investigado y más avanzadas se encuentran las aplicaciones en la construcción de MC. El *Infrastructure Composites Report – 2001* (Julio 2001) pronosticó un crecimiento de un 525% en el uso de MC en construcción en todo el planeta desde el año 2001 hasta el 2010. Así mismo, pronosticó que este crecimiento sería del 750% en Estados Unidos en los próximos 10 años.

A nivel estructural (elemento resistente), la aplicación de materiales compuestos ha abierto un mercado importante en la construcción de puentes. Precisamente es este campo y en Estados Unidos donde se encuentran los mayores avances en la investigación del uso de MC en la construcción. En su construcción los materiales compuestos proporcionan alta capacidad de carga con bajo peso de material. Esta característica de los materiales compuestos evita gastos con equipamientos pesados y reduce considerablemente el tiempo de instalación. Los materiales compuestos son también muy durables, muchos no se corroen como el acero ni se pudren como la madera, de modo que los costos de reposición y manutención son significativamente reducidos.

En la actualidad, existen diversos sistemas de construcción (o combinación de ellos) para elementos estructurales de puentes con materiales compuestos. Los más destacados son los listados a continuación:

- Tableros Duraspan. Son los tableros más usados para la ingeniería civil en EEUU. Los tableros pueden ser de 6 a 8 m de longitud y un ancho de 3,5 m. Está formado por dos pieles paralelas (una superior donde se sitúa la capa asfáltica y otra inferior) unidas mediante perfiles de fibra de vidrio (sin núcleo). Se realiza por pultrusión con refuerzos a lo largo del tablero para soportar los esfuerzos de cortadura. Un ejemplo de aplicación es el puente sobre Lewis & Clark en Astoria (Oregón, EEUU).
- Tableros Hardcore. Esta tecnología está basada en el sándwich con núcleo en nido de abeja y el proceso de RTM asistido por vacío (VARTM). Ejemplo de aplicación puente “Five mile road”, en el condado de Hamilton, Ohio, EEUU. Este puente posee 13,4 m de longitud por 8,5 de anchura.
- Tableros Superdeck. Tableros constituidos por perfiles de pultrusión formando geometrías de hexágonos y dobles trapecios (figura 2.5). Todo ello lleva unas pieles de fibra de vidrio que forman un conjunto prefabricado para transportar a la obra para su montaje. Estos tableros se apoyan sobre largueros metálicos. Un ejemplo de aplicación es el puente Wickwire Run, Taylor County, West Virginia, EEUU. Este puente fue abierto al tráfico en 1997 con una longitud de 9,14 m y una anchura de 6,6 m.
- Tableros Viga Cajón. Tal y como su nombre indica se trata de tableros formados por varias vigas en forma de cajón de vidrio/poliéster con una placa superior de dos capas: una primera constituida de vidrio/poliéster y una segunda de viniléster y un conglomerado de rodadura. Un ejemplo de aplicación es el puente Troutville Weigh Station (Interestatal 81 en Troutville, EEUU). Sus tableros miden 4,5 m de longitud por 1,5 m de anchura y es transitado por 13.000 vehículos de más de 20 t cada día.
- Tableros Tech-Deck. Formado por perfiles rectangulares pultruidos rellenos de hormigón y unidos para formar un panel. Esta solución asegura que no habrá problemas de estabilidad local, aunque a cambio se incrementa de forma muy notoria el peso del conjunto (dificultad de puesta en obra).
- El concepto CSS (Composite Shell System). Se trata de un tubo de carbono/epoxi que se rellena de hormigón. El tubo se fabrica por enrollamiento filamentario, pultrusión o RTM. Estos tubos desempeñan la función de vigas apoyándose encima de ellas los tableros de los puentes.
- Vigas Multi-celulares. Son vigas multicelulares híbridas. Tienen forma rectangular y son de fibras de vidrio y de carbono con dos rigidizadores para evitar el pandeo de las almas. Fabricadas mediante pultrusión. Un ejemplo de aplicación es el puente Sugar Grove (Virginia, EEUU) de 12 m de longitud (figura 2.6).
- Concepto Maunsell. Son perfiles rectangulares de pultrusión con encajes para unir mediante otros perfiles de pultrusión (conectores llamados “hueso de perro”). Este concepto ha quedado desfasado por problemas con la rigidez. Está realizado con fibra de vidrio y lo convierte en un puente demasiado flexible. Un ejemplo es el puente del río Tay en Escocia.



Figura 2.5. Tablero Superdeck presentado



Figura 2.6. Detalles vigas multi-celulares en puente Sugar Grove de Virginia



Figura 2.7. Vista general de puente ligero de MC

Además de en puentes, los materiales compuestos también se usan para otras finalidades en las estructuras de la construcción en general (Universidad de Zaragoza, 2002):

- Restauración de infraestructura: Numerosas reparaciones en todo el mundo se están llevando a cabo mediante preimpregnados carbono/epoxi pre-curadas o curadas in situ para solventar problemas en estructuras de edificios.
- Refuerzos de materiales compuestos para productos de hormigón (espiga de metal, barras de refuerzos, tendones de postensionado y pre-stress, estructuras fijas ...)

- Cables “activos”: La última generación de ascensores de Schindler, el modelo Euroloft, presenta cables de aramida, con la mitad de peso, el doble de resistencia y capacidad de monitorización de deformaciones (lo que permite actuar rápidamente ante un posible percance).
- Sistemas de unión “activos”: Materiales con memoria de forma. Enfriando cambian la forma y al volver a temperatura ambiente recuperan la forma inicial. Por ejemplo remaches.
- Cimentaciones “activas”: Formadas por materiales compuestos electroreológicos, materiales normalmente líquidos pero que con el paso de la corriente eléctrica se vuelven sólidos. En caso de sismo deja de pasar corriente a través del material con lo que algunas cimentaciones se vuelven líquidas y consiguen un conjunto más flexible (mejor para movimientos sísmicos).

Todo ello sin perder de vista las aplicaciones estructurales secundarias como guardabarros, soportes para señalización de carreteras, postes y crucetas para distribución de corriente eléctrica, innumerables tipos de adornos, etc.

Construcciones destacadas usando materiales compuestos

A principios de los noventa la compañía “Neste Oy Chemicals company” establecida en Helsinki (Finlandia), desarrolló y construyó una casa experimental llamada “Nesthaus” (figura 2.8), como banco de pruebas de la posible utilización de materiales poliméricos en el sector de la construcción. En 1992, un puente de materiales compuestos fue inaugurado en la localidad escocesa de Aberfeldy, el puente situado sobre el río Tay. Está considerado como una de las mejores obras de materiales compuestos, y sus dimensiones son de 2 metros de anchura por 120 metros de longitud (figura 2.9).



Figura 2.8. Edificio Nesthaus (Finlandia)

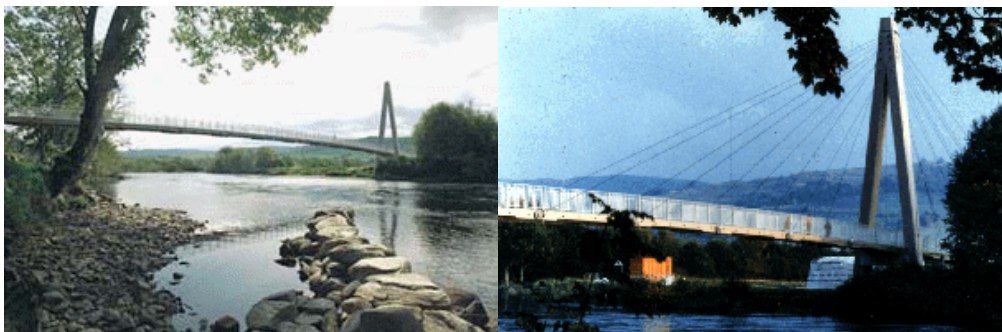


Figura 2.9. Puente sobre el río Tay (Escocia)

En el año 2000 se construyó en la autopista interestatal 86, cerca de San Diego (California), el puente llamado “The King Stormwater Bridge”. Este puente fue nombrado puente estelar de la construcción de los Estados Unidos de América. Este está realizado a base de materiales compuestos. Concretamente 12 estructuras cilíndricas de carbono CSS de 355 mm de diámetro y 9,5 mm de espesor rellenos de hormigón, que constituyen el sistema de refuerzo longitudinal del puente. La luz es 20,1 m y la anchura 12,8 m. El tablero está formado por 6 paneles de tipo “Duraspan” de 12,8 m de anchura y 3,3 m de longitud. No es el puente más largo construido, pero si el más transitado y el que más carga debe soportar.

En vistas del éxito del puente “The King Stormwater Bridge“, las autoridades de California han promovido el “I-5/Gilman Project” (figura 2.10). Este consiste en un puente de materiales compuestos en la autopista interestatal 5 en San Diego, con unas dimensiones de 137 metros de longitud, 46 metros de altura y 3,7 metros de anchura. Los pilares y las vigas longitudinales están proyectados en CSS, y los travesaños en vigas de pultrusión híbridas vidrio/carbono huecas. El tablero está diseñado en vidrio/poliéster y los cables en carbono y acero. Este puente resta a la espera de su aprobación presupuestaria definitiva.



Figura 2.10. Gilman Project (California)

Otros ejemplos destacados de aplicaciones en construcción son los siguientes:

- Museo de arte Milwaukee (2001) diseñado por Santiago Calatrava. Utiliza materiales compuestos. Posee unas alas móviles de 32m de longitud para dejar pasar la luz a la galería del museo. Estas alas están formados por 72 timones de 0,6m de espesor y de longitudes variables entre 32 y 8m. Estos timones estaban proyectados en carbono/epoxi mediante enrollamiento filamentario pero se fabricaron en acero por cuestiones económicas (ver figuras 2.11 y 2.12).

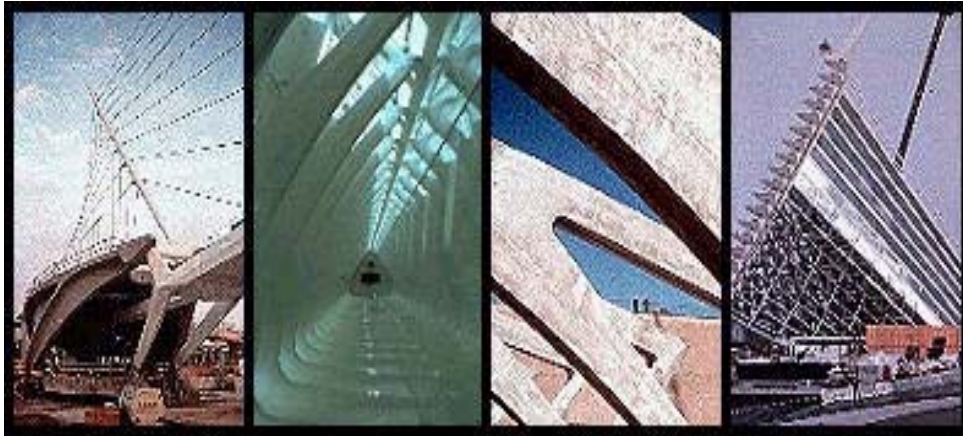


Figura 2.11. Milwaukee Art



Figura 2.12. Milwaukee Art

- La cubierta de U.S. Airways en La Guardia (Nueva York, 1989), fabricada en un sándwich con pieles de fibra de carbono, soportado por barras de acero y uniones esféricas de acero inoxidable.
- La Glasgow Science Tower (Escocia, 1992). Es una torre de 120 m de altura cuya parte superior gira libremente con el viento. Por cuestiones de peso la parte superior está fabricada en fibra de vidrio y el mástil y sus refuerzos en fibra de carbono (ver figura 2.13).



Figura 2.13. Glasgow Science Tower

- El Milenium Dome (Londres, 2000). Es la mayor cúpula del mundo con una superficie de 80.000m² y 50m de altura. La membrana está realizada en tejido de fibra de vidrio y matriz de teflón.

Un ejemplo de edificio realizado íntegramente de materiales compuestos, es “The Eyecatcher building” (figura 2.14), que es 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 (5 pisos) con una planta de 10x12 metros cuadrados.



Figura 2.14. The Eyecatcher Building

En cuanto a ejemplos de construcciones españolas, destacan los tirantes realizados de materiales compuestos de la Torre de Collserola (Barcelona 1992) diseñada por Norman Foster (figura 2.15). En esta los 3 cables superiores están fabricados en aramida/epoxi ya que en esa parte superior de la torre es donde se alojan los equipos de comunicación. Cada uno de los tres cables está compuesto por 7 cables en paralelo de 56mm de diámetro. La torre tiene una altura total de 288 m.



Figura 2.15. Torre de Collserola (Barcelona)

Más recientemente (2003) se ha construido un puente de materiales compuestos del A.V.E. en la ciudad de Lérida desarrollado y construido por la empresa Fiberline, líderes en materiales compuestos para la construcción en Europa (figura 2.16) (Sobrino y Pulido, 2004).



Figura 2.16. Puente del A.V.E (Lleida)

Este puente, localizado en Lérida, es el más largo de Europa en su categoría. Sus dimensiones son 38m 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. 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, siendo 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.

Destacar que muchas de las construcciones mencionadas en este apartado corresponden a puentes, pues esta tipología de construcción es donde está más arraigado el uso de MC y es donde aparecen las obras más representativas de aplicación de MC en la construcción en general.

Últimas tendencias de los materiales compuestos en la construcción

En cuanto a las últimas tendencias se refiere en los materiales compuestos en la construcción, destacar que se pide al material compuesto más prestaciones y menor coste. Se pide al proceso más rapidez, más precisión y menor coste. Todo ello pasa por una optimización de los moldes utilizados, por automatizar los procesos, en utilizar nuevas fibras y combinaciones, en combinar los materiales compuestos con materiales tradicionales y en potenciar las matrices reciclables y las fibras naturales (Miravete, 2002).

Uno de las exigencias actuales principales para un material compuesto es que trabaje en las tres dimensiones (normalmente sólo lo hace en dos). Para ello se está experimentando en lo que se denomina la arquitectura textil. En función de cómo se dispongan las fibras se puede lograr un trenzado en 3D. Tan sólo es cuestión de saber como tirar de la fibra y como girar las bobinas. Ejemplos de ello son el 3D Weaving, el Stitching y el 3D Braiding (Kamiya et al., 2000), aunque ninguno de ellos por el momento se ha desarrollado completamente (Mansó, 2004; Chiminelli et al., 2003).

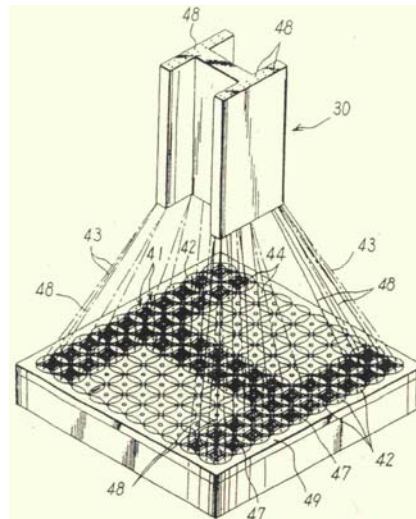


Figura 2.17. Arquitectura textil 3D Braiding

Concretando las tendencias en la aplicación de materiales compuestos en la construcción, los principales campos de trabajo que se prevén en el futuro son los siguientes (Universidad de Zaragoza, 2002):

- Tableros para puentes (pultrusión en fibra de vidrio)
- Armado de hormigón (armado con fibra de vidrio)
- Reparación de viguetas (impregnados de fibra de carbono)
- Embandado de columnas
- Paneles sándwich
- Perfilería pultrusión
- Tubos CSS (puentes integrales)
- GRC (fibra de vidrio antiálcali para fachadas)
- Restauración

2.3. Aplicaciones en la construcción industrial

La aplicación de los materiales compuestos a edificios industriales, se limita a la utilización de algunos componentes determinados como sustitutos de los materiales típicamente utilizados. Por ejemplo la sustitución de lucernarios de cristal por otros de materiales compuestos translúcidos, que son más resistentes a la corrosión y al impacto. Aunque existen multitud de elementos fabricados de compuestos que podrían ser utilizados en edificios industriales, la mayoría de ellos no han sido diseñados con dicho fin, sino que simplemente pueden ser aplicados a edificios industriales por sus equivalencias cualitativas con los productos de materiales convencionales que desempeñan algunas funciones determinadas. Es por ello que no se ha encontrado ninguna construcción industrial a destacar como ejemplo de aplicación de elementos formados de MC.

2.3.1. Sistemas constructivos considerados de un edificio industrial

Los sistemas constructivos potencialmente aplicables a un edificio industrial, pueden clasificarse en dos grandes grupos principales: sistemas constructivos resistentes (o estructurales) y sistemas constructivos no resistentes. Los primeros tienen como principal función el soportar y transmitir las cargas a las que se somete al edificio, y además, servir de soporte para los sistemas no resistentes. Normalmente reciben cargas elevadas que en caso de fallo podrían producir el colapso del conjunto. Por otro lado, los sistemas constructivos no resistentes deben conferir propiedades no estructurales al edificio, como por ejemplo, estanqueidad, aislamiento térmico, resistencia al agua, etc. En caso de fallo de estos sistemas, el daño resultante no sería crítico para la estabilidad del conjunto de la edificación (aunque ello no implica que el daño no pudiera ser considerable).

Dentro de los sistemas constructivos resistentes se incluyen el sistema constructivo cimentaciones, el sistema constructivo estructuras, y el sistema constructivo forjados. A su vez, estos se dividen en elementos constructivos resistentes (tal y como se puede apreciar en la tabla 2.1).

Tabla 2.1. Clasificación básica de sistemas constructivos resistentes.

SISTEMAS Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS RESISTENTES	
SISTEMA CONSTRUCTIVO CIMENTACIÓN	
SISTEMA CONSTRUCTIVO ESTRUCTURA	Elemento constructivo resistente VIGAS
	Elemento constructivo resistente PILARES
	Elemento constructivo resistente ESTRUCTURAS AUXILIARES
SISTEMA CONSTRUCTIVO FORJADOS	

En los sistemas constructivos no resistentes se incluyen el sistema constructivo cerramientos, el sistema constructivo carpintería, el sistema constructivo soleras, el sistema constructivo pavimentos y el sistema constructivo acabados. Estos, al igual que para lo sistemas constructivos resistentes, se dividen en elementos constructivos no resistentes (ver tabla 2.2).

Tabla 2.2. Clasificación básica de sistemas constructivos no resistentes.

SISTEMAS Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS NO RESISTENTES		
SISTEMA CONSTRUCTIVO CERRAMIENTOS	EXTERIORES	Elemento constructivo FACHADAS
		Elemento constructivo CUBIERTAS
	INTERIORES	Elemento constructivo TABIQUERÍA
SISTEMA CONSTRUCTIVO CARPINTERÍA		Elemento constructivo PUERTAS
		Elemento constructivo VENTANAS
SISTEMA CONSTRUCTIVO SOLERAS		
SISTEMA CONSTRUCTIVO REVESTIMIENTOS		Elemento constructivo PAVIMENTOS
		Elemento constructivo FALSOS TECHOS
		Elemento constructivo ACABADOS

2.3.2. Aplicación de los materiales compuestos a los sistemas constructivos de un edificio industrial

En este apartado se muestran los resultados de la búsqueda de información realizada sobre el uso de MC en aplicaciones de los distintos sistemas constructivos considerados para edificios industriales. Se han hallado productos ofrecidos por los fabricantes de MC de aplicación directa a elementos constructivos de edificios industriales, a la vez que se han encontrado otras soluciones no destinadas explícitamente a esta finalidad si bien de muy fácil adaptación a la misma.

Uno de los aspectos generales que se ha deducido de la búsqueda realizada (representando a priori un inconveniente para su aplicación), es el elevado coste de la mayoría de productos encontrados comparado con los elementos tradicionales que deben sustituir. Ello es debido a un mayor precio de la materia primera, en gran parte, pero también a que el diseño y confección de algunos productos ha sido destinada a cubrir algunas necesidades muy específicas, propias de algunos sectores, aprovechando las posibilidades de los MC. Por ejemplo, muros especiales para contención de aguas o deposición de productos químicos, o paneles especiales para edificios de comunicaciones. Consecuentemente, estos productos no fueron pensados específicamente para edificios industriales, con lo que su diseño se podría optimizar al igual que su coste.

Así pues, para un edificio industrial las configuraciones especiales de las que se dota a algunos de estos elementos no son necesarias, y una mayor sencillez permitiría precios más asequibles. Se debe también considerar que la demanda, y por tanto las cantidades producidas de elementos de MC, es muy inferior a la de los materiales convencionales, de forma que los primeros se encarecen considerablemente.

Elementos de fachada de MC

Existen varios elementos en el mercado de los materiales compuestos capaces de desempeñar la función propia de una fachada convencional. Varios fabricantes ofrecen placas onduladas y planas muy similares a las metálicas, con las que es posible la formación de elementos sándwich mediante la utilización de adhesivos (figura 2.18).

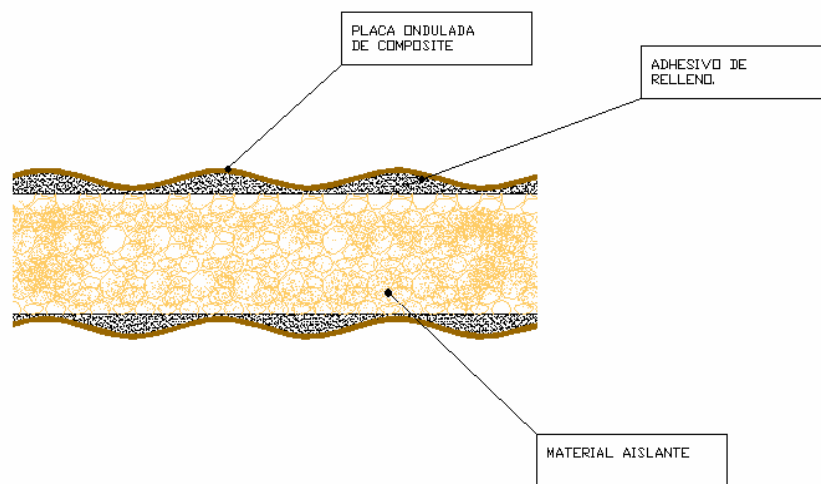


Figura 2.18. Configuración de placa sándwich de MC

También existen elementos sándwich fabricados por pultrusión alrededor de placas de espuma aislante (sándwich de nido de abeja o con núcleo de polietileno expandido, poliuretano o policloruro de vinilo), confeccionados para protecciones de antenas de radio o televisión (transparente a las emisiones electromagnéticas), para locales de procesamiento de operaciones químicas, para protección de equipos eléctricos, para edificios modulares, etc. La capa protectora del aislante se encuentra disponible en resinas isoftálicas de poliéster y de viniléster reforzadas con fibra de vidrio (figura 2.19). Ambos sistemas de resinas son retardantes de llama. Las placas de viniléster se utilizan en los ambientes más corrosivos. De todos modos, ambos sistemas incorporan una película protectora, que mejora sus resistencias a la intemperie, a la corrosión, y a los rayos ultravioleta. La resistencia ante los agentes ambientales puede ser mejorada mediante el pintado superficial con pintura de poliuretano.

Aunque no esté dentro del ámbito concreto de la construcción industrial, destacar como edificio emblemático en la aplicación de MC para fachadas, el Hospital General de Cataluña (sito en San Cugat del Vallés) construido a mediados de la década de los 80 (ver detalle en figura 2.20). Este edificio en forma de H tiene más de 20.000 m² de cerramiento exterior formado por paneles de MC, concretamente mediante fibra de vidrio y resina de poliéster. Dado que está asentado en una zona sísmica se calculó que el edificio podía abrirse o cerrarse hasta 20 cm. Ello provocó la aplicación de los MC con un módulo de Young 10 veces

inferior al del hormigón, lo que permite absorber grandes esfuerzos. Esta solución constructiva en su momento se consideró muy innovadora, marcando el inicio de un época (Miravete, 2000-1).

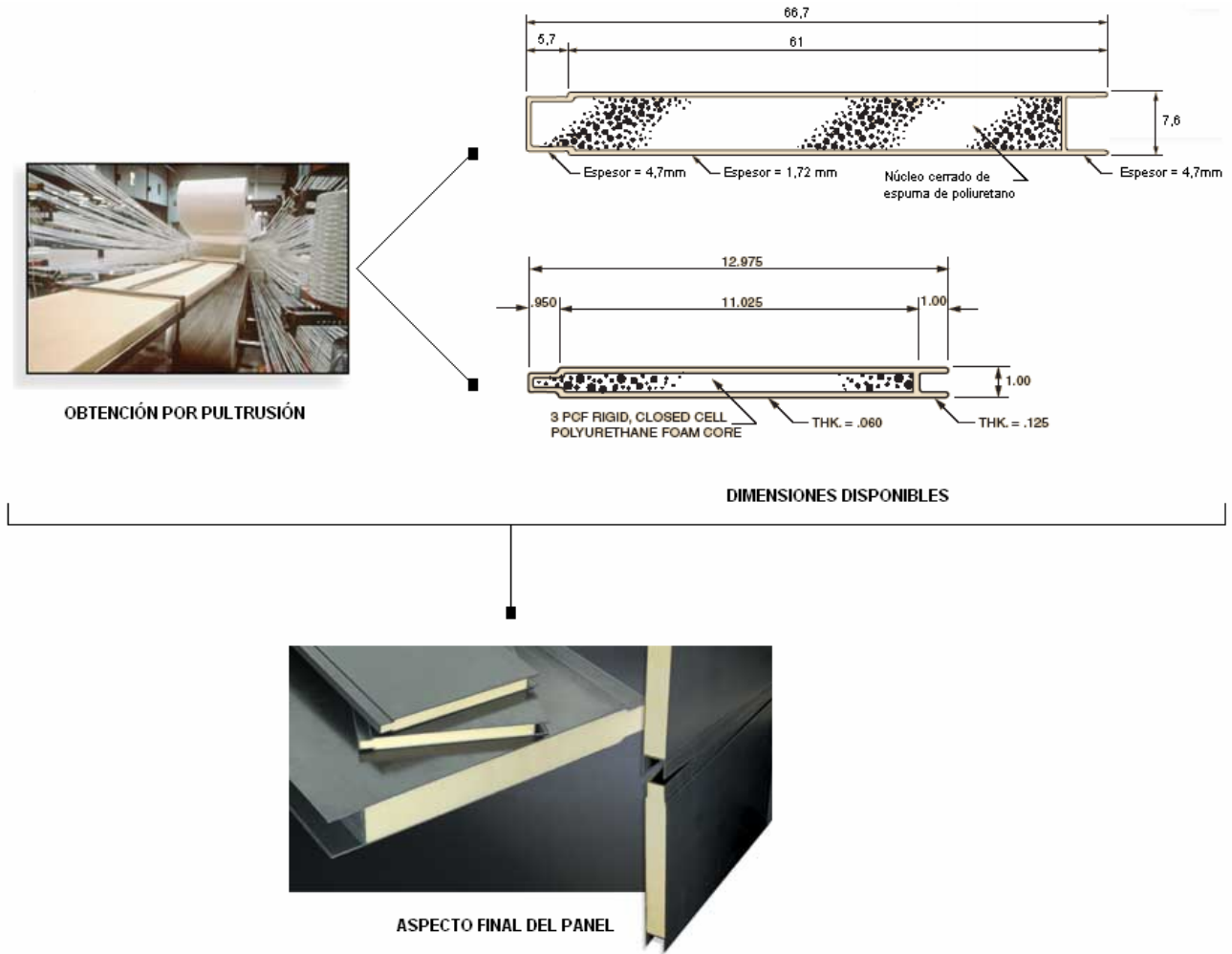


Figura 2.19. Paneles de MC para fachadas



Figura 2.20. Paneles de MC para fachadas

Por último destacar dentro del apartado de fachadas, que también existen soluciones mixtas como ahora la utilización de paneles de hormigón reforzados con fibras de vidrio AR.

Elementos de cubierta de MC

Los elementos mostrados para fachadas de MC, las placas planas y onduladas simples con posibilidad de montar sistemas sándwich (figura 2.18), y los paneles sándwich de poliéster o viniléster reforzados con fibra de vidrio (figura 2.19), son igualmente hábiles para constituir cubiertas ligeras de edificios industriales, tanto planas como inclinadas. 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 2.21). 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.

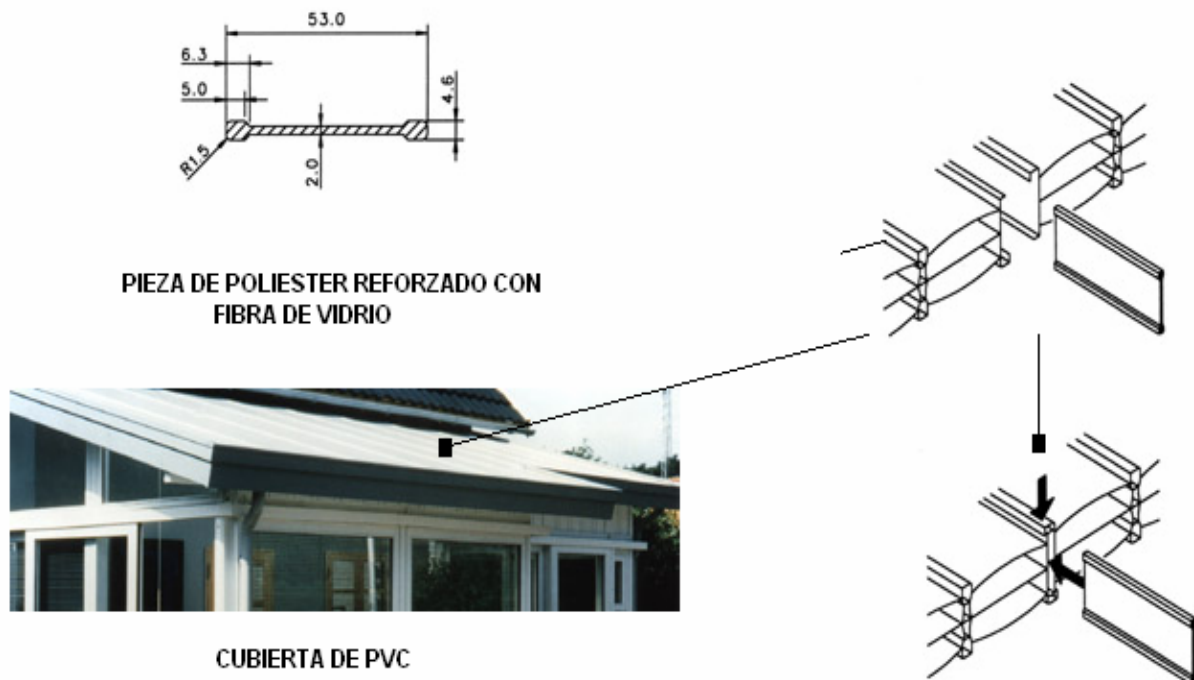


Figura 2.21. Solución de MC para cubiertas inclinadas

Mencionar también en este apartado, la aplicación de los MC para cubiertas flexibles. Debido a su ligereza y fácil colocación es una solución muy adecuada para carpas itinerantes o para cubrir grandes superficies con pocos puntos de apoyo (p. ej. cubrir graderías de recintos deportivos).

Forjados de MC

Son muchos los tipos de forjado disponibles en materiales compuestos, siendo la diferencia principal entre ellos la capacidad de carga. Así pues, según se requiera un forjado más o menos resistente se realiza la elección. De este modo, se puede establecer la siguiente clasificación de los forjados disponibles en materiales compuestos, según su capacidad estructural:

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

Las aplicaciones de los forjados de MC, van desde suelos industriales tipo emparrillado, hasta forjados especialmente resistentes para puentes de vehículos. A continuación se mostrarán diferentes configuraciones para cada tipo de forjado, según la clasificación anterior.

Forjados de baja resistencia

Los forjados de baja resistencia son del tipo emparrillado o “grating”. Pueden estar 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, así como en forma de “mat” para una mayor resistencia transversal. Además, disponen de una película protectora que mejora notablemente las propiedades contra la corrosión (figura 2.22). 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, en escaleras, en suelos industriales de plataformas, pasarelas, etc.

Forjados de resistencia media

Se trata de sistemas de paneles disponibles en anchuras de 30 y 60 centímetros, para proporcionar superficies sólidas y continuas (los emparrillados, además de poseer resistencias algo inferiores, no son continuos). El objetivo de este producto es el de sustituir a 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 a la corrosión, la resistencia mecánica elevada, el peso reducido, la facilidad de instalación, el escaso mantenimiento y la facilidad de transporte.

Sus aplicaciones más típicas, hasta la actualidad, se encuentran en suelos para torres de refrigeración, en cubiertas para control de olores en depuradoras, en suelos para aceras elevadas, en forjados temporales y en paneles para muros celulares.

La resina normalmente utilizada es la de poliéster, retardante de llama, y auto extingible. Además, la resina puede estar rodeada de una película protectora contra los rayos UV en las zonas expuestas. Existe la posibilidad de encargarse de diferentes colores y acabados. Las longitudes de los paneles son prácticamente ilimitadas (ver detalle en figura 2.23).

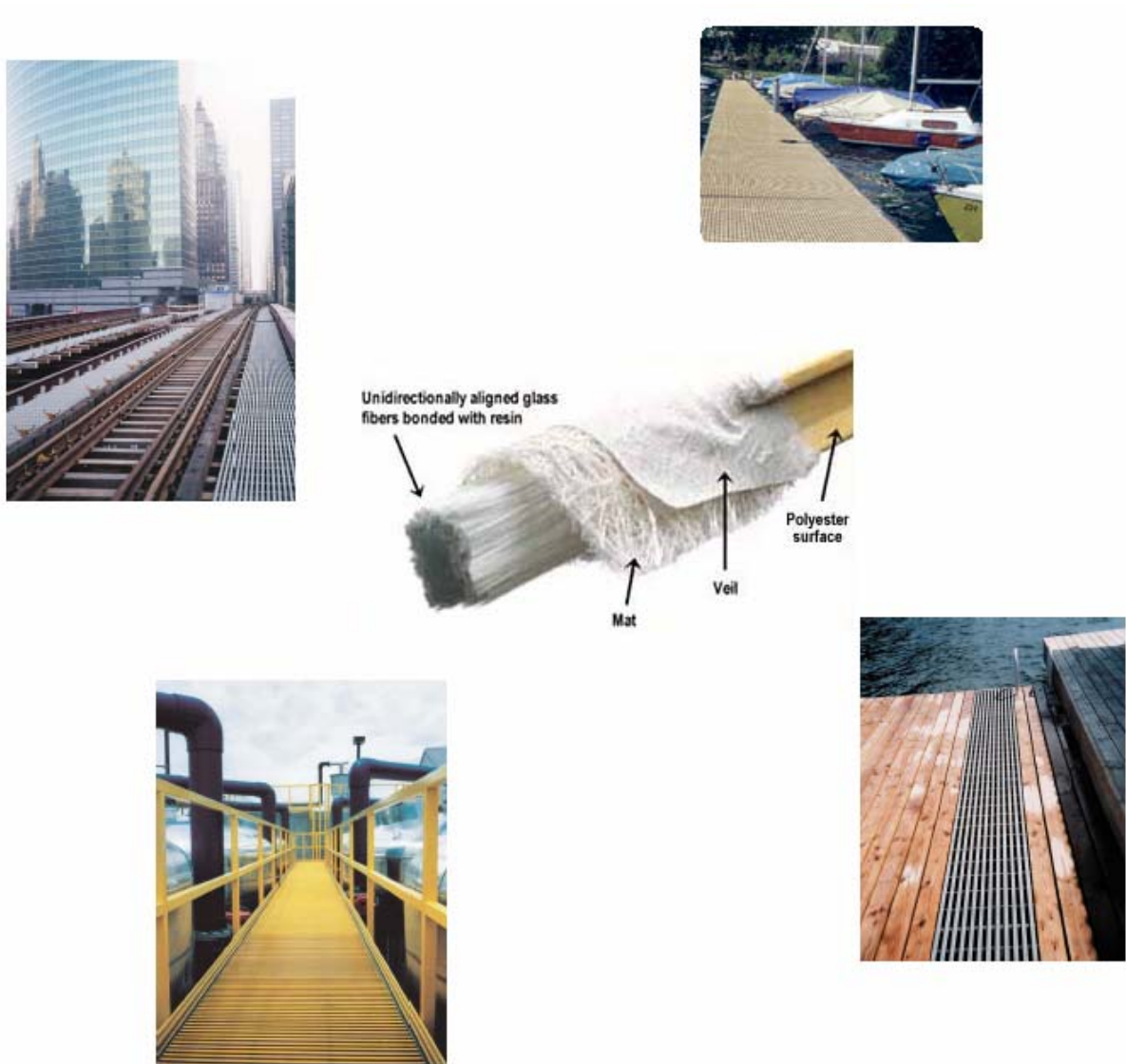


Figura 2.22. Emparrillados o forjados de MC de baja resistencia



Figura 2.23. Paneles de MC para forjados de resistencia media

Forjados de alta resistencia (Superdeck)

Se trata de elementos de forjado que pueden llegar a ofrecer resistencias muy elevadas, utilizándose sobretodo en puentes para vehículos. Las dimensiones de las placas disponibles son prácticamente ilimitadas, debido a su proceso de fabricación. El tipo de forjado más aplicado es el que se conoce como “Superdeck”. Estos se forman de placas provenientes de la unión adhesiva transversal de dos secciones diferentes de perfiles tubulares, de viniléster reforzado con fibra de vidrio (ver detalles en figura 2.24). Consecuentemente, el grosor de las placas se ve limitada 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.

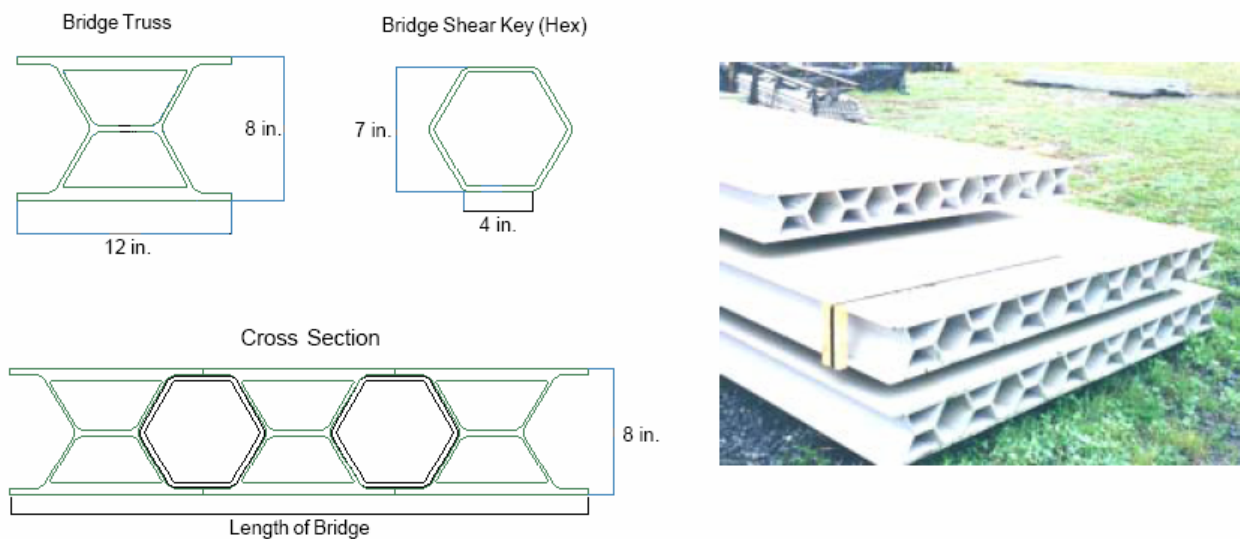


Figura 2.24. Placas de forjado de MC de alta resistencia (Superdeck)

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

Perfiles estructurales (vigas y pilares) de MC

Los perfiles estructurales más comunes utilizados en estructuras metálicas pueden ser encontrados también formados de materiales compuestos. Ello es debido a que los primeros conatos de aplicación de MC a las estructuras, ha sido por analogía a una tipología estructural ampliamente conocida por los proyectistas y clientes como es la estructura metálica. Concretamente, existen alrededor de 100 perfiles (según fabricantes) más o menos estandarizados copiados del acero (muestra en la figura 2.25).

Todos los perfiles están compuestos de resinas de poliéster o viniléster reforzados con fibra de vidrio, y envueltos en películas protectoras que impiden que las fibras punzantes perforen las superficies de los perfiles, mejorando las protecciones contra la corrosión y los rayos ultra violeta.

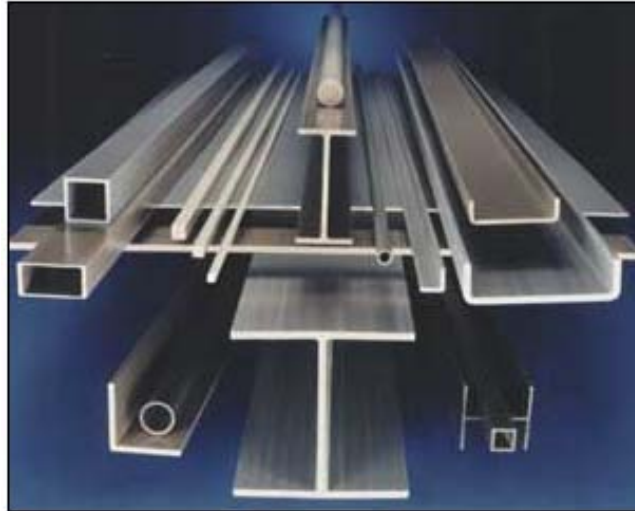


Figura 2.25. Perfiles estructurales de MC

El método utilizado para la fabricación de los perfiles estructurales de MC es la pultrusión. Por ello resultan posibles multitudes de formas cambiando el molde del proceso. Este punto permite que los fabricantes, además de ofrecer perfiles más o menos estandarizados, ofrezcan la posibilidad de fabricar perfiles a medida según los requerimientos del cliente. Los perfiles a medida permiten obtener formas óptimas para cualquier requerimiento estructural. Las propiedades más destacadas de estos perfiles son la resistencia a la corrosión, bajas conductividades térmicas y eléctricas, transparencia a ondas electromagnéticas, ligereza, alta resistencia, estabilidad dimensional y escaso mantenimiento.

Cimentaciones de MC

Uno de los requisitos más importantes que debe cumplir cualquier elemento de cimentación es la de poseer un peso y volumen elevado. El peso elevado no forma parte de las características inherentes a los materiales compuestos, y además, los procesos de fabricación y los costes elevados no permiten una fácil obtención de elementos de gran volumen. Por estos motivos, entre otros, el hormigón armado o en masa, que además permite la fabricación in situ, sigue siendo el material más apropiado para transmitir esfuerzos al terreno.

Aun así, existen investigaciones sobre cimentaciones plásticas en zonas de niveles sísmicos elevados. Estas reaccionan reblandeciéndose ante la circulación de corrientes eléctricas, activadas cuando los sensores perciben las vibraciones provocadas por el seísmo. Cuando el terremoto cesa, también lo hace la circulación de la corriente eléctrica, y la rigidez del material vuelve a su estado inicial. Ello le resta rigidez al conjunto del edificio, permitiendo que este pueda soportar de una manera más flexible las sacudidas del seísmo (Universidad de Zaragoza, 2002).

Elementos de tabiquería interior de MC

Uno de los elementos composite disponibles que puede desempeñar la función de elemento de tabiquería, consta de paneles modulares de alta resistencia mecánica y con numerosas posibilidades de acabados. Los tabiques pueden estar formados por poliéster estándar, poliéster retardante de llama o con viniléster (con resistencia extraordinaria a la corrosión), todos ellos reforzados con fibra de vidrio. Todas las resinas

incorporan inhibidores de rayos ultravioleta y los perfiles están envueltos de películas protectoras que mejoran su resistencia a la corrosión y rayos UV (figura 2.26).

Las propiedades más destacadas de estos perfiles para tabiquería son la facilidad de montaje, tiempo de montaje muy reducido, mantenimiento escaso, alta resistencia, reducido peso y fácil transporte.



Figura 2.26. Paneles de MC para tabiquería interior

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.

Elementos de carpintería de MC

Los elementos de carpintería disponibles formados de materiales compuestos son escasos, ya que en su mayoría la resistencia no es un factor importante y por tanto pueden ser fabricados con plásticos simples (no reforzados). De todos modos, los marcos de plástico de puertas y ventanas necesitan perfiles de refuerzo. Estos perfiles normalmente son de acero, pero sus escasas propiedades aislantes provocan la necesidad de utilizar capas de aire en los marcos de un tamaño considerable (romper puentes térmicos). Por este motivo existen perfiles de refuerzo formados por materiales compuestos, 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 (figura 2.27).

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).

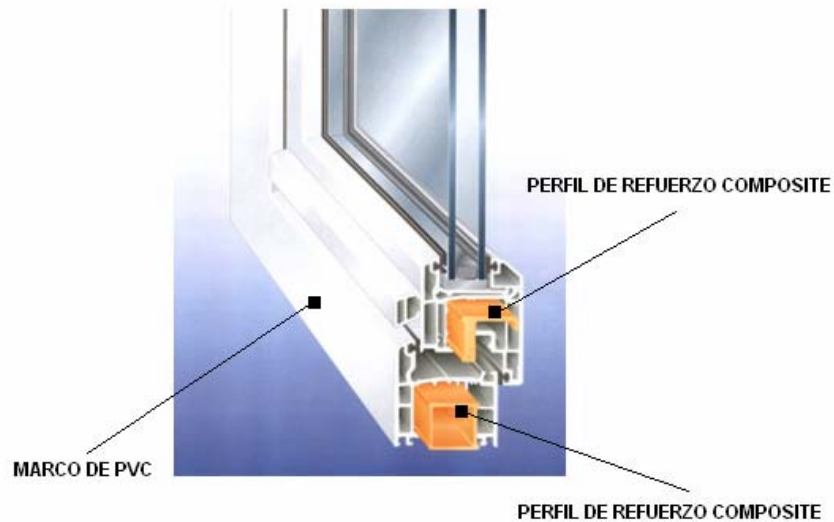


Figura 2.27. Perfiles de refuerzo de MC para marcos de PVC

Pavimentos de MC

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 2.28). Además, poseen propiedades excelentes contra ambientes severos. Estas placas son perfectamente compatibles con los sistemas de forjados de MC explicados en este mismo apartado (mismo coeficiente de dilatación), aunque algunos de ellos ya pueden actuar como forjado y pavimento al mismo tiempo. El puente del A.V.E. en la población de Lérida (figura 2.16), incorpora este tipo de pavimento para paso peatonal. Las propiedades principales de estas placas de MC para pavimentos son la facilidad de montaje, la resistencia al impacto, el mantenimiento escaso, el reducido peso, la fácil limpieza, una superficie antideslizante y son retardantes de llama.



Figura 2.28. Placas de MC para pavimentos

Existen otros pavimentos que aunque no sean estrictamente de MC presentan aspectos comunes con estos. Concretamente son pavimentos a base de resinas epóxicas (pavimentos epoxídicos), que se ofrecen en forma de resina combinada con aditivos especiales (a veces incluso fibras) vertida directamente sobre el suelo a pavimentar. Sus propiedades son muy similares a las de las placas anteriores de MC.

Otros elementos de interés de materiales compuestos

Además de los mencionados hasta el ahora, es posible encontrar otros elementos constructivos de materiales compuestos que pueden ser de utilidad para su aplicación en edificios industriales. Por ejemplo, pueden obtenerse tornillos estructurales, escaleras, barandillas, elementos translúcidos, falsos techos, armaduras para el hormigón armado (sustituir acero), tirantes estructurales, tuberías, depósitos, membranas geotextiles, etc. de materiales compuestos. Todos ellos poseen las propiedades inherentes a los materiales, que los hacen normalmente superiores a sus equivalentes en materiales convencionales.



Figuras 2.29 y 2.30. Ejemplos de aplicación de MC para barandillas y escaleras ligeras