

TECNOLOGÍA

¿Los nuevos alquimistas?

Enrique Azpilicueta

Los investigadores implicados en el descubrimiento y desarrollo de nuevos materiales están aportando constantemente resultados que nos acercan a un control casi absoluto de las propiedades de la materia.

"Lo que me inquieta es lo que se ha hecho con los nuevos materiales... más exactamente: lo que no se ha hecho."

Jean Prouvé

Ésta, ya vieja, reflexión sigue siendo de absoluta actualidad si la aplicamos al mundo de la construcción de edificios en España. Mientras tanto, el resto de la industria incorpora rápidamente los llamados "nuevos materiales".

Es importante resaltar que gran parte de los nuevos materiales, compuestos o no, derivan de perfeccionamientos y recombinaciones de materiales utilizados tradicionalmente en la construcción.

Otro de sus grandes atractivos consiste en que la mayoría proceden de la línea que se inició cuando se coció el primer ladrillo, es decir: un nuevo material, de características muy superiores a su material base, obtenido a partir de materia prima abundante más energía aplicada inteligentemente. Sería el caso de las nuevas cerámicas y vidrios, y de muchas fibras como las de sílice, carbono, etcétera.

La Novena Conferencia Interna-

cional sobre Materiales Compuestos (ICCM/9), celebrada en Madrid en julio pasado, en la que han participado cerca de mil investigadores, ha dejado claro el enorme progreso experimentado en este campo, que constituye el de mayor desarrollo de entre los genéricos "nuevos materiales".

El nivel, interés y cantidad de las ponencias expuestas y recogidas en densísima publicación constatan la existencia de un profundo conocimiento sobre la naturaleza, resultado, diseño y posibilidades de fabricación de este tipo de materiales.

Aunque los resultados actuales son muy considerables, veremos más adelante cómo las posibilidades de nuevas combinaciones son amplísimas.

Si pensamos detenidamente en las aplicaciones en arquitectura de las nuevas tecnologías y materiales, considerados de un modo global, seremos conscientes de las

enormes expectativas que nos ofrecen.

Los arquitectos no debemos seguir prescindiendo de materiales y procesos de fabricación que pueden generar nuevas formas al cambiar la escala y proporción de las actuales estructuras resistentes, superándolas sustancialmente en aspectos como resistencia, peso propio, resultado frente al fuego, fatiga, corrosión o envejecimiento, e incorporando la posibilidad de entrada en carga selectiva, así como el control del estado tensional real de la pieza de un modo sencillo y continuo.

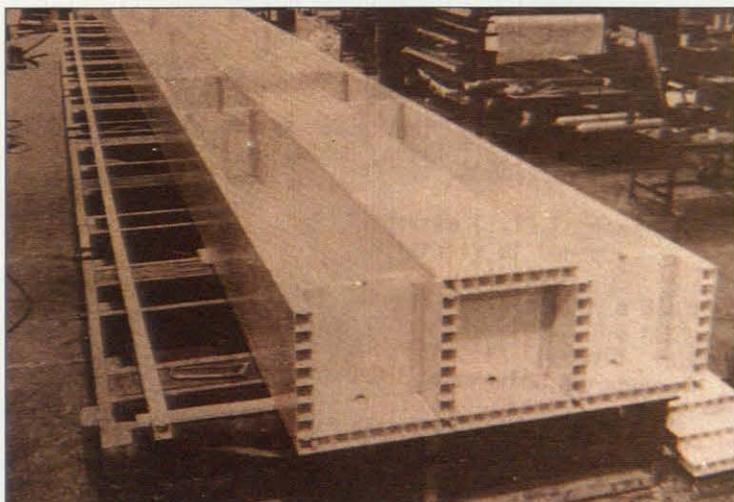
Tampoco debemos renunciar a materiales y elementos constructivos utilizables en la piel del edificio, que aportan posibilidades como el control total de luz natural mediante vidrios electrocromáticos que cambian a nuestra voluntad su capacidad de absorción y transmisión luminosa y energética en una escala de 0 a 100. Vidrios con un mejor funcionamiento a flexión y menor

riesgo de rotura frágil. Sistemas de aislamiento a base de aerogeles, que superan los condicionantes de los actuales aislantes orgánicos.

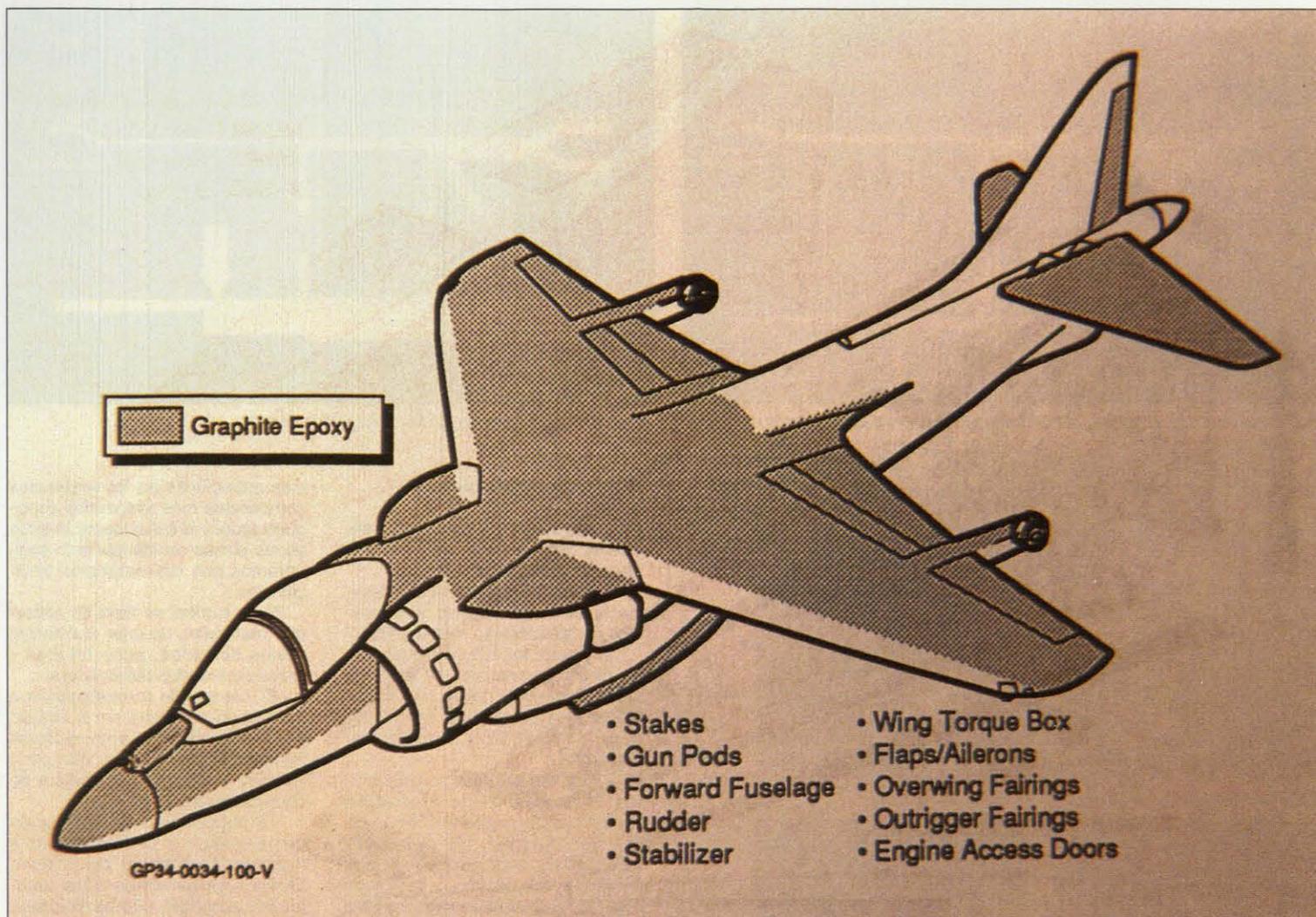
El muro de vidrio neutralizante, enunciado y nunca resuelto por los modernos; ensayado, con una limitación parcial de visión, por Richard Rogers en el cerramiento de la Lloyd's; será realizable en un futuro inmediato sin limitaciones de transparencia y con un resultado energético espectacular.

Cerramientos capaces de generar y acumular energía eléctrica sin perder por ello valores estéticos ni funcionales respecto a los materiales tradicionales: textura, color, resistencia mecánica, aislamiento, durabilidad, envejecimiento.

En otro orden de cosas, tampoco podemos olvidar los sistemas de iluminación artificial a base de paneles de fibra óptica que permiten un control prácticamente absoluto de los niveles luminosos en cualquier punto del espacio a ilumi-



A la izquierda, viga de 125 metros de luz, construida totalmente con poliéster reforzado con fibra de vidrio. A la derecha, puente peatonal de Abnerfeldy, realizado con poliéster y fibra de vidrio.

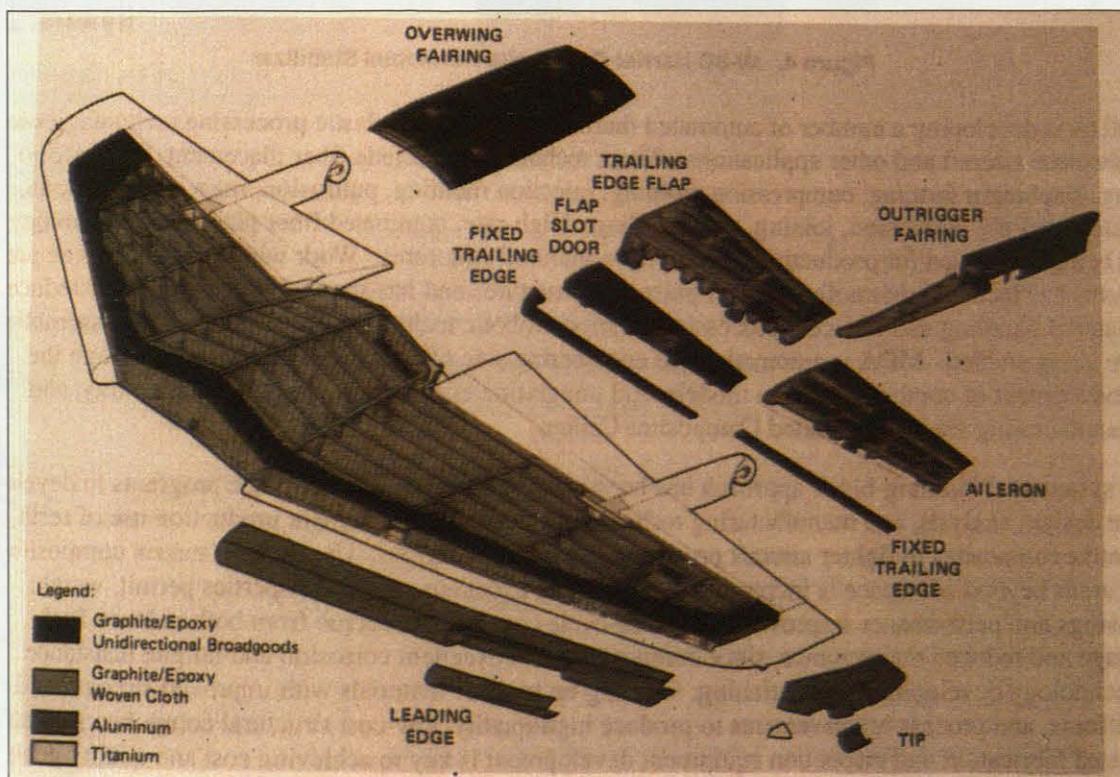


nar, más el beneficio de poder controlar la neutralidad cromática del tipo de luz e incluso la posibilidad de utilizar luz solar como fuente luminosa de alimentación del sistema de fibra óptica.

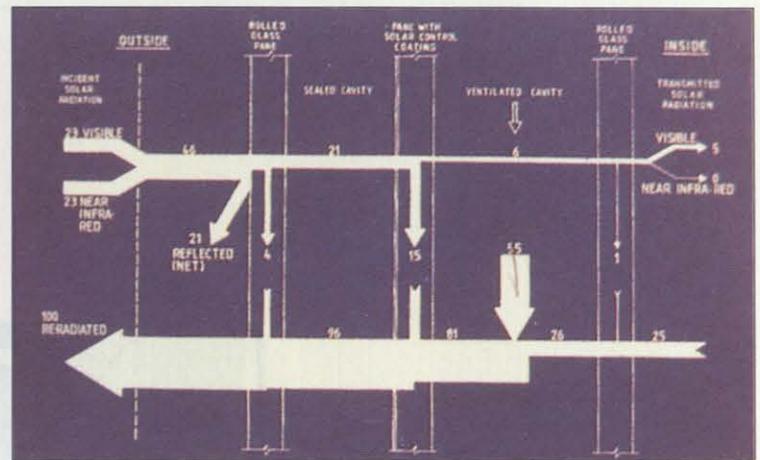
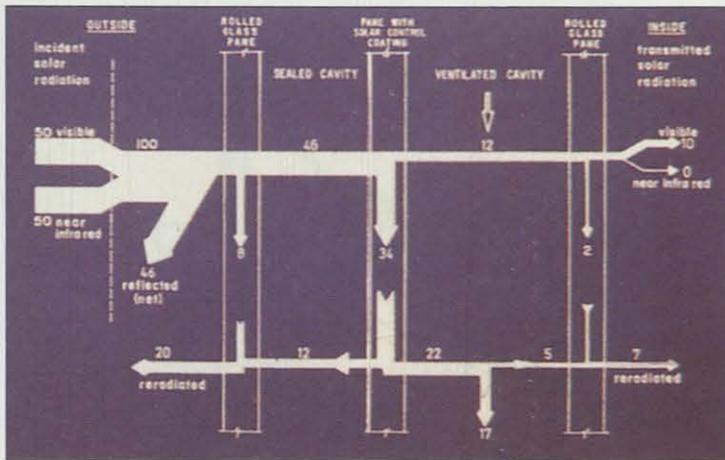
Estas serían algunas de las aplicaciones más espectaculares; pero no debemos olvidar toda una serie de elementos menores en los que son de aplicación nuevos materiales y tecnologías de fabricación.

El arquitecto debe establecer un diálogo directo y fructífero con la industria, que hoy día se muestra tremendamente receptiva, para determinar qué productos hay que desarrollar. Para ello necesitamos unos conocimientos y lenguaje que posibiliten el entendimiento con el especialista.

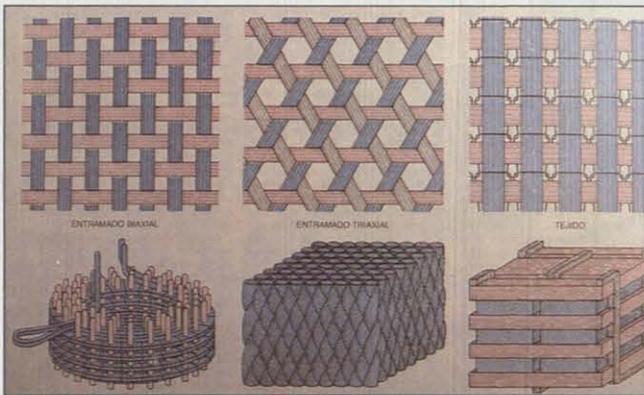
Para aclarar un poco el panorama, propongo un recorrido más sistemático por las distintas familias de nuevos materiales - recordamos que se han descubierto muy recientemente materiales auténticamente nuevos -, pero el mayor impulso se debe al creciente control sobre la homogeneidad, isotropía, anisotropía, densidad, propiedades eléctricas, etcétera, de "viejos materiales".



En la imagen superior, Harrier Av-8B. Sobre estas líneas, elementos del Harrier AV-8B, realizados con materiales compuestos. Carbono-Epoxy, aluminio reforzado con fibras y titanio reforzado.



En la imagen de la izquierda, comportamiento del muro neutralizante de la Lloyd's en verano; y en invierno, en la imagen de la derecha.



Distintos tejidos a base de fibras y láminas.



Rotura a tracción de fibras. Izquierda: fibra de carbono. Derecha: Kevlar.

Los ejemplos más relevantes recogidos en exposición industrial celebrada en paralelo son:

- Puente de 125 metros de luz, construido totalmente a base de poliéster y fibra de vidrio. Inglaterra. (Il. 1 y 2.)
- Alerones traseros del Airbus realizados con epoxy/carbono por C.A.S.A. (España). Tiene el interés añadido de que el diseño y la fabricación son un proceso continuo basado en un sistema de CAD/CAM, desarrollado por C.A.S.A. (Il. 3 y 4.)
- Proyecto Vulcano, que desarrolla materiales compuestos con matriz metálica reforzada con fibras inorgánicas. Patrocinado por INESPAL, FOARSA, C.A.S.A., CENIM, E.T.S.I.C.C.I.P., etc. (Il. 5.)
- Piezas de cerámica obtenidas por laminación y reforzadas con fibras. (Il. 6.)
- Paneles "sandwich" que llevan espumas metálicas (aluminio) como núcleo.
- Materiales con memoria de forma y materiales "inteligentes", que cambian de forma, color, geometría o dimensiones en función de estímulos externos; por ejemplo, activando mecanismos de protección y refuerzo de los edificios cuando detectan movimientos sísmicos.
- Cerámicas capaces de almacenar energía eléctrica.
- Materiales compuestos, armados con tejidos tridimensionales. Un ejemplo de aplicación es una embarcación ultrarresistente y ultraligera desarrollada por Italia para aplicaciones en la Antártida. (Il. 7 y 8.)
- Sensores a base de fibra óptica insertados en piezas con trabajo estructural que indican el estado de carga de las mismas.

Materiales compuestos

Pasemos a tres de los puntos principales a influir en la definición de material compuesto.

1. Consta de dos o más materiales físicamente distintos y separables mecánicamente; matriz y fibra.

2. Puede fabricarse mezclando los distintos materiales de tal forma que la dispersión de un material en el otro sea de manera controlada para alcanzar unas propiedades óptimas.

3. Las propiedades son superiores, y posiblemente únicas en algún aspecto específico, a las de los componentes por separado (característica sinérgica).

Antes de continuar, conviene recordar que el hormigón armado es un material compuesto, clasificado como macrocompuesto, donde la matriz es el hormigón y la fibra el acero.

Las ventajas de los materiales compuestos aparecen cuando consideramos el módulo de elasticidad por unidad de peso (módulo específico) y la resistencia por unidad de peso (resistencia específica). Los mayores módulos y resis-

cias específicas de los materiales compuestos más avanzados consiguen reducir drásticamente el peso de las piezas resistentes si lo comparamos con los materiales tradicionales.

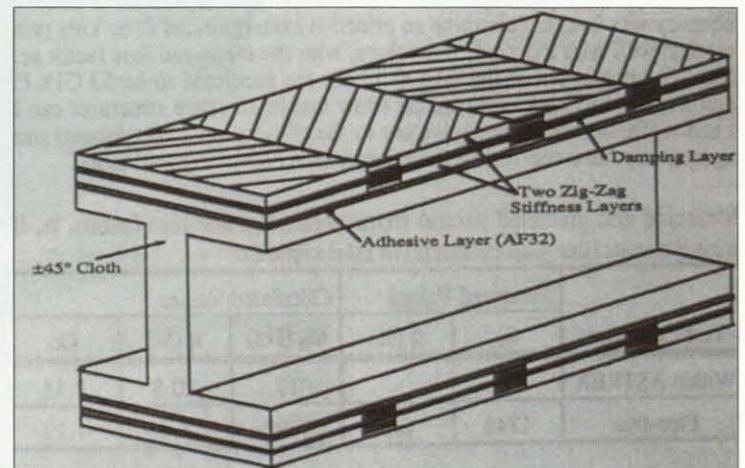
En resumen, se trata de conseguir materiales de gran resistencia y baja densidad, poco frágiles y resistentes a altas temperaturas.

El campo de investigación e innovación se centra en el estudio de la compatibilidad entre distintas matrices y fibras, sobre todo en la llamada interfase o superficie de contacto fibra/matriz.

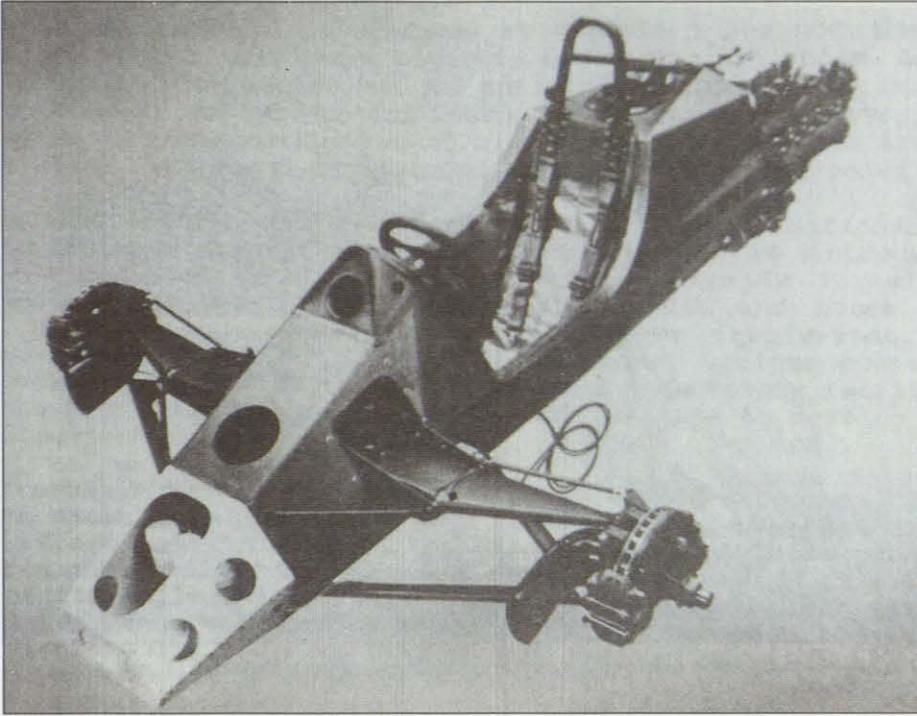
La temperatura de fabricación de la matriz y la temperatura máxima de trabajo de la fibra serán determinantes para establecer posibles combinaciones. En el cuadro adjunto se indican estos datos para distintos componentes.

Cuadro de compatibilidad fibras matriz

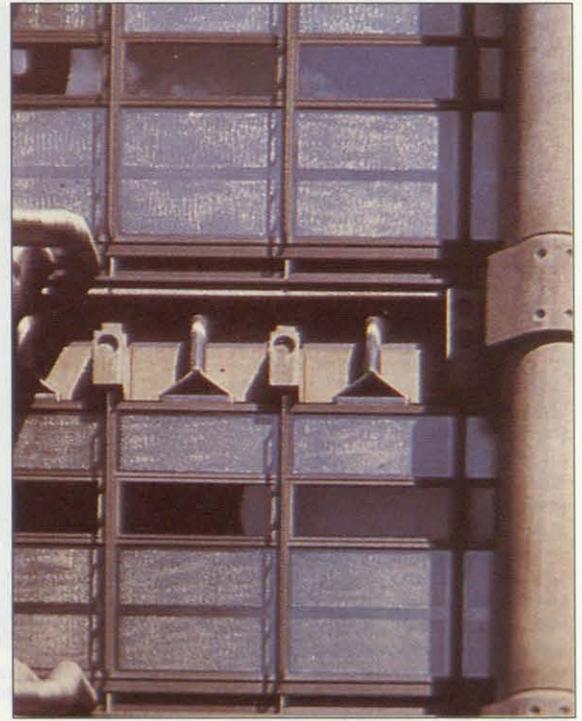
Es posible diseñar materiales compuestos con un funcionamiento armónico o inarmónico, según la



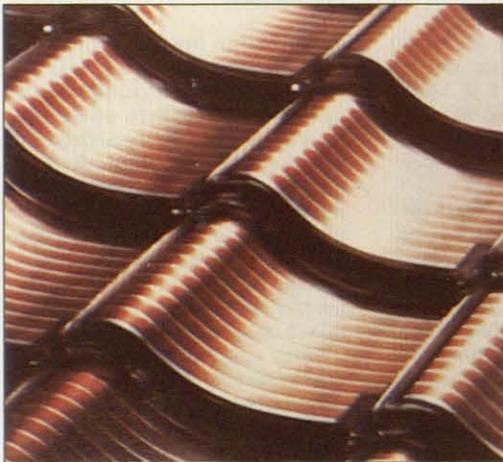
Posible organización de perfil laminado, reforzado con fibras y láminas compuestas.



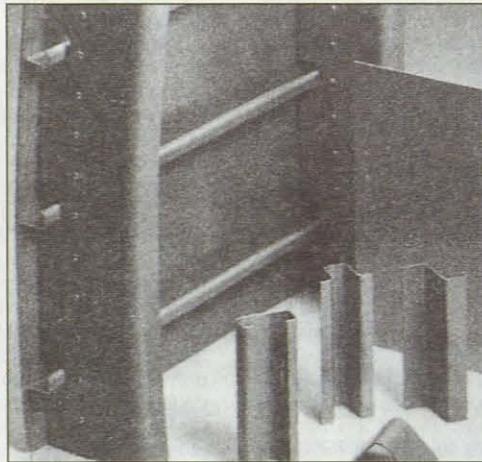
Chasis del McLaren MP4/1 realizado con materiales compuestos. Matriz: polímeros termoestables. Fibra: carbono.



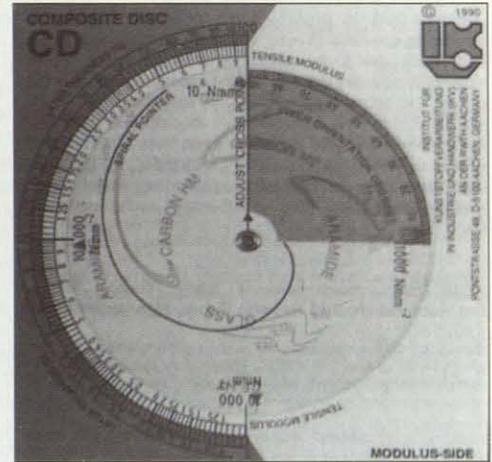
Detalle de la fachada del nuevo edificio de la Lloyd's en Londres.



Tejas fabricadas con células solares de silicio amorfo. Imitan a las tejas tradicionales japonesas.



Piezas realizadas a base de laminados fibra-metal.



Ábaco para el cálculo de refuerzos de materiales compuestos con distintas fibras.

mayor o menor coincidencia de coeficientes de dilatación fibra/matriz. Un ejemplo de funcionamiento inarmónico es el de los metales con memoria de forma, armados con fibras que fuerzan una determinada geometría en función de la temperatura.

Es importante conocer las características de rotura, tanto de fibras como de matrices. De un modo general se puede decir que las fibras inorgánicas tienen un tipo de rotura frágil; y las orgánicas, dúctil.

Establezco a continuación una posible clasificación de los materiales compuestos.

- Naturales: madera, hueso, bambú, músculos.
- Microcompuestos: termoplásticos endurecidos, termoplásticos reforzados, algunas aleaciones metálicas.
- Macrocompuestos: hormigón

armado, termoestables reforzados, madera laminada combinada con nervios de aluminio fundido, cerámicas reforzadas, metales reforzados.

Los tipos de refuerzo establecen clasificaciones en función de que las fibras sean continuas o cortas, estén orientadas o su distribución sea aleatoria, formen un tejido tridimensional o no, etc.

Es el grupo de los macrocompuestos reforzados con fibras continuas el que tiene un mayor campo de aplicación en los aspectos estructurales de la construcción de edificios. En concreto materiales como:

- En uso:
 - Hormigón.
 - GRC (glass reinforced concrete).
 - GRP poliéster reforzado con fibra de vidrio.
- Nuevos:

- Plásticos termoestables reforzados con una amplia gama de fibras tanto orgánicas como inorgánicas.

- Metales reforzados con fibras de aluminio, berilio, carbono o sílice carbono.

- Cerámicas laminadas, reforzadas con fibras de carbono o sílice carbono.

Es evidente la gran cantidad de combinaciones posibles aún no probadas, tanto en componentes como en geometrías de refuerzo.

Parce claro que los materiales compuestos actuales alteran las premisas del diseño estructural y constructivo basado en la isotropía del material.

Desde el punto de vista del arquitecto, tal vez la idea más atractiva e inquietante sea la de poder disponer de materiales a la medida.

Nuevas cerámicas, vidrios y productos vitrocerámicos

La definición de cerámica que suelen emplear los científicos de materiales lo califica como un material duro, no metálico ni polimérico, que resiste el calor y el ataque químico y adquiere propiedades eléctricas especiales.

La cerámica puede fabricarse a base de materias primas distintas de la arcilla, como son sílice, óxido de calcio y óxidos metálicos.

Puede presentar una morfología diversa: vitro-cristales, vidrios, cristales monolíticos, conglomerados de cristales pequeños y combinaciones de dichas formas.

El fuerte enlace atómico, iónico y covalente que se produce en las cerámicas, es la causa de su enorme fragilidad, ya que el material no admite deformaciones.

Si recordamos algunas características del vidrio, veremos que su resistencia a tracción es de unos 500 kg/cm² y la de compresión puede llegar a alcanzar los 10.000 kg/cm². Ahora bien, una hoja de vidrio se romperá sometida a un trabajo de flexión mínimo. La razón ya está enunciada; las microfisuras que aparecen en la cara traccionada se disparan a toda la sección.

La resistencia a la rotura frágil de un material se mide por su tenacidad. Muchos metales tienen una tenacidad de hasta 40 megapascal (Mpa) por raíz cuadrada de metro; los metales frágiles como la fundición llegan a 20; y las cerámicas tradicionales y materiales vítreos apenas alcanzan 1.

Los avances más recientes no sólo han permitido reducir el problema de la fragilidad, sino que han aportado un mayor control sobre la composición y la microestructura. Veamos cómo ha sido.

Por un lado han intervenido las técnicas de procesado, con dos tipos distintos:

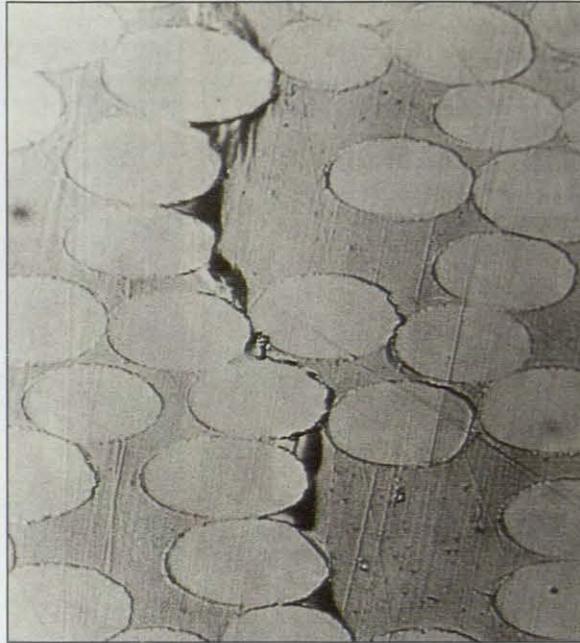
– Fusión completa de los componentes con un procesado similar al del vidrio.

Da lugar a los materiales vitro-cerámicos y vidrios, en los que conviven el estado vítreo y el cristalino. El mayor o menor crecimiento de cristales en el vidrio se regula mediante nucleantes especiales o tratamientos térmicos. Es posible moldear o laminar la masa vítrea.

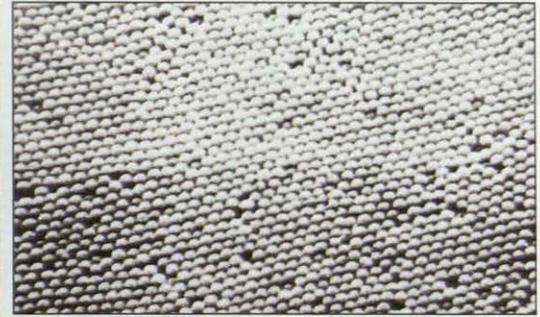
– Cocción a temperatura inferior a la de fusión.

La unión entre partículas se produce por sinterización. Está basada en la técnica tradicional de fabricación de piezas de arcilla; sus diferencias esenciales son el empleo de polímeros aglomerantes en lugar de agua de amasado y la aplicación de presión previa a la sinterización; de esta forma se minimiza la tradicional contracción.

Otra de las mejoras es el empleo de componentes reducidos



La granulometría controlada y el empaquetado previo consiguen cerámicas que, una vez sinterizadas (imagen superior) no tengan huecos entre partículas



a un polvo finísimo, de granulometría homogénea y de gran pureza química. Todas estas técnicas se dirigen a eliminar y/o controlar los defectos microscópicos que, como huecos e impurezas químicas, están en los puntos donde se producen grietas.

Paralelamente se han desarrollado técnicas de refuerzo de tremendo interés que se basan en principios muy diversos:

– Reforzamiento por transformación: se aprovecha la característica de la circonita, o dióxido de circonio, de aumentar su volumen alterando su estructura cristalina al ser sometido a tensión. El aumento de volumen, de un 3 a un 5%, de los granos de circonita próximos a una grieta en propagación comprimen localmente la matriz y detienen la grieta. Con la utilización de la circonita como componente se han llegado a fabricar cerámicas con una tenacidad de

15 Mpa por raíz cuadrada de metro. (Il. 21.)

– Refuerzos a base de fibras: se emplean fibras a su vez cerámicas, en concreto de carburo de silicio. Los materiales cerámicos monolíticos, como el vidrio, han experimentado una mejora sensible frente a la rotura frágil.

– Refuerzo por disipación de tensiones: se basa en introducir microgrietas en el material de una manera controlada, de forma que cuando se inicia la fisuración y el extremo de una grieta alcanza una microgrieta, las tensiones se reparten en una superficie mayor y el avance de la rotura se detiene.

Se deduce de todo lo expuesto el enorme avance que están experimentando las nuevas cerámicas y vidrios, basado en un control creciente de las propiedades de la materia; en esa línea no debemos olvidar los vidrios fotocromáticos y fotosensibles.

Aerogeles

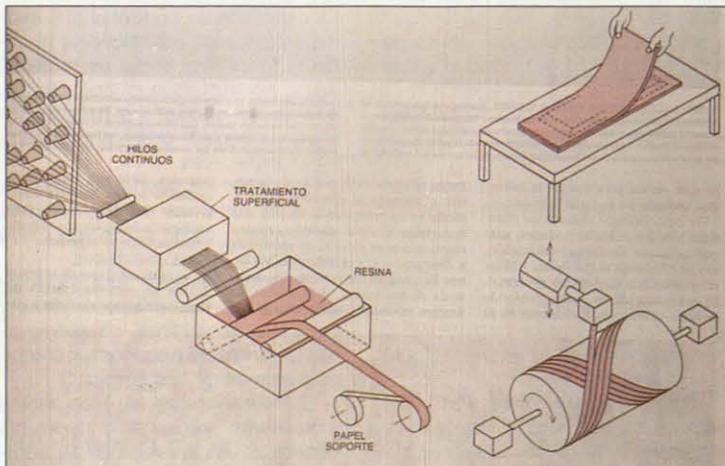
Son sólidos ligeros y porosos, constituidos por más aire que gel.

Las sustancias gelatinosas pierden hasta un 90% de su volumen al secarse. En los años treinta se descubrió un método para secar geles sin que se produjera reducción de volumen. A partir de entonces, las técnicas se han perfeccionado y es posible fabricar aerogel de sílice, con una conductividad térmica cien veces menor que la de un vidrio denso.

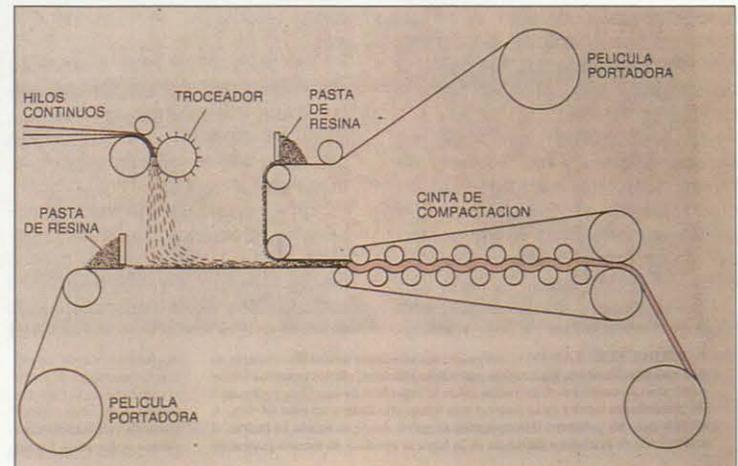
Sus aplicaciones como aislamiento tanto térmico como acústico parecen evidentes, superando a la fibra de vidrio y a los aislantes orgánicos en uso.

Nuevos plásticos

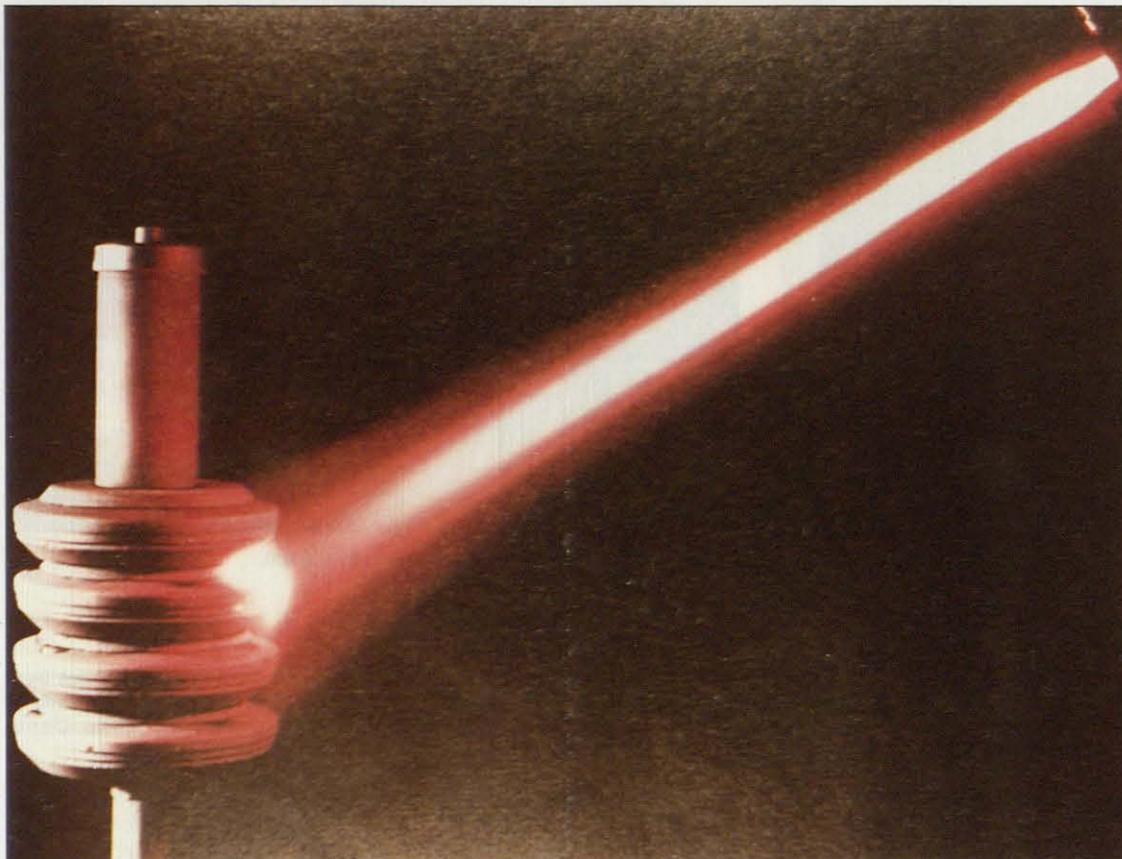
Los materiales poliméricos han experimentado un gran avance al



Fabricación de un material compuesto de matriz polimérica termoestable y fibra larga.



Fabricación de un material compuesto de matriz polimérica y fibra corta.



Cañón de plasma recubriendo discos de cobre con tungsteno.

incidir la investigación en el control del diseño a escala molecular, optimizando la relación entre los cuatro factores determinantes en el funcionamiento de un polímero:

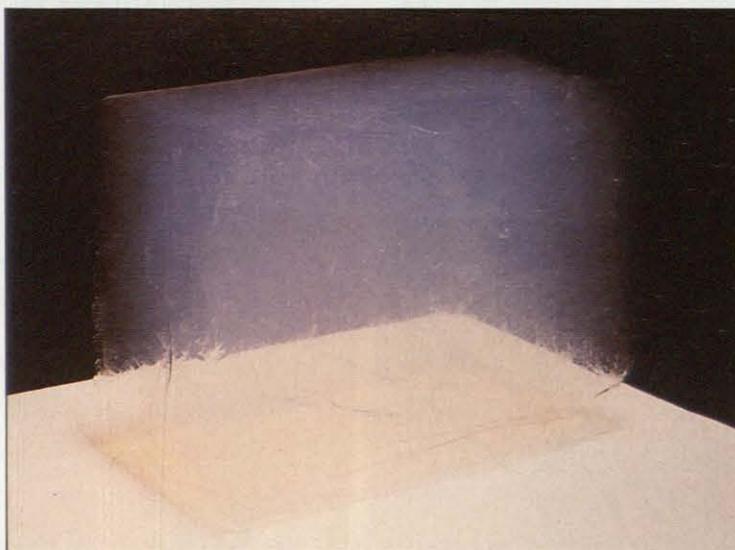
- La longitud promedio de las cadenas de polímero.
- La magnitud de las fuerzas entre las cadenas de polímeros.
- La regularidad con que dichas cadenas se entrecruzan, así como el carácter tridimensional de los cruces.
- La rigidez de las cadenas individuales en cada polímero.

Como consecuencia de todo ello se han mejorado los polímeros ya existentes apareciendo algunos nuevos con características notables: carácter de cristal líquido, aumento de resistencia, mejora de funcionamiento a altas temperaturas, etcétera.

Mención aparte merecen los plásticos conductores. Presentan dos características de gran interés: conducen la electricidad y varían de color en función de la temperatura. De esta forma es posible plantear un acristalamiento que lleve una lámina de plástico conductor que cambiará de color en función de la corriente eléctrica aplicada a la lámina.

Estaríamos hablando de una de las posibilidades de materialización de los llamados vidrios electrocromáticos. También se investiga en el mismo sentido a base de cerramientos que llevan cristal líquido.

Otra de las aplicaciones de los plásticos conductores, en investiga-



Fragmento de aerogel de sílice. Es translúcido y tiene extrañas propiedades ópticas, que colaboran también en su función de aislante térmico y acústico.

ción, es la fabricación de acumuladores eléctricos de poco peso. Su incidencia en sectores como el transporte puede ser enorme, pero pensemos en paneles de cerramiento con un núcleo aislante, de plástico o cerámica, capaz de almacenar energía eléctrica producida por una cara exterior fotovoltaica...

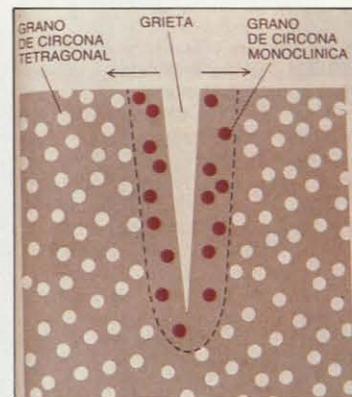
Electricidad fotovoltaica

Las actuales células solares, fabricadas fundamentalmente con sili-

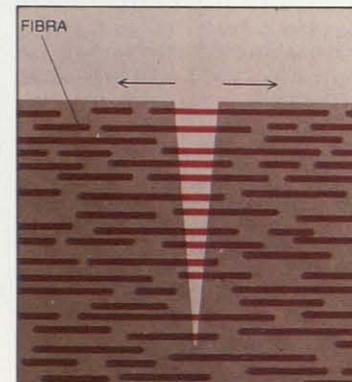
cio y metal, alcanzan rendimientos de conversión fotovoltaica de hasta un 35%.

La duración de una célula solar es prácticamente ilimitada; y sus materiales básicos son muy abundantes.

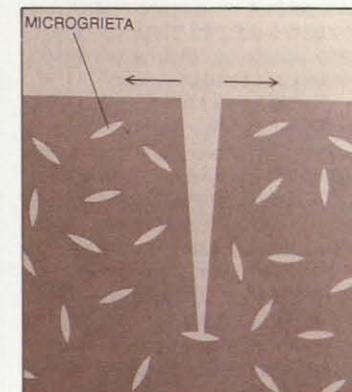
Existen desde hace años tejas fotovoltaicas, fabricadas en Japón, que imitan a las tejas tradicionales. La posibilidad de incorporar células solares a la piel del edificio controlando en gran medida su aspecto y textura parece clara. Se han desarrollado células solares que se alo-



Incluyendo circonia en su composición. El cambio de su estructura cristalina, aumenta de volumen al estar sometida a tensión, detiene la propagación de la grieta.



Refuerzo a base a fibra.

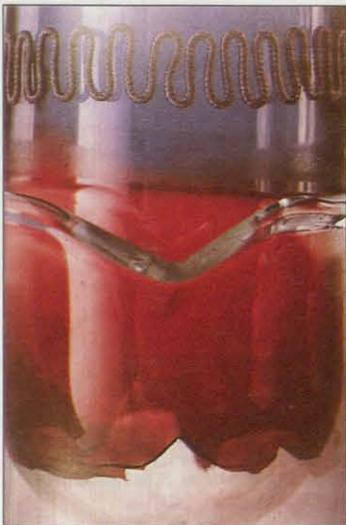


Refuerzo por inducción de microgrietas.

jan entre dos láminas de vidrio, siendo incorporables a cualquier cerramiento con técnicas convencionales de acristalamiento. Por otra parte conviene recordar que España es puntera en investigación y fabricación de células solares.

Conformación de elementos

Una gran novedad, de carácter general, consiste en la creciente presencia de ciclos completos



Cambio de color en un plástico conductor de la electricidad. La parte alta, oscura, está caliente; la inferior, fría.

CAD/CAM en el diseño y conformación de elementos. La posibilidad de superar el concepto de gran serie, por la incorporación de la informática y la robótica a la industria, abre nuevas expectativas en la disponibilidad de elementos constructivos de altas prestaciones y diseño personalizado.

Muchas de las técnicas de conformación tradicionales son de aplicación a los nuevos materiales; el cuadro adjunto pretende sintetizarlo añadiendo alguna novedad y sin llegar a ser exhaustivo.

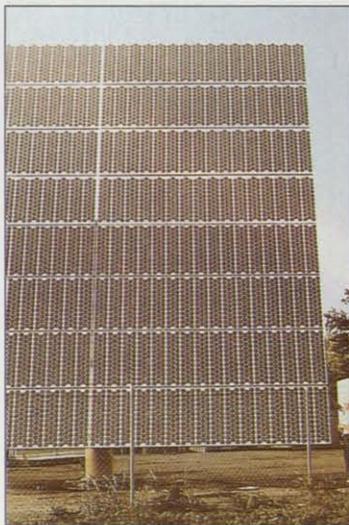
También se han puesto a punto técnicas de revestimiento y protección como es el cañón de plasma. La llama de alta velocidad funde casi todos los materiales cerámicos o metálicos, pulverizándolos de modo que podemos "pintar" un material base con revestimientos anticorrosión, anti-desgaste, etcétera. La posibilidad de poder pulverizar casi cualquier material presenta grandes ventajas sobre sistemas más sencillos, como el galvanizado, o muy refinados como la deposición átomo a átomo.

A modo de conclusión

Este pequeño paseo por algunas de las posibilidades que la ciencia de los materiales nos proporciona, pone en evidencia lo ya realizado y la potencialidad existente.

La sociedad actual ha incorporado con gran naturalidad la llamada alta tecnología a temas tan diversos e importantes como la medicina, los medios de transporte y comunicación, las herramientas de trabajo cotidianas y a muchos otros aspectos de la vida. Parece que la inercia del sector construcción es mucho mayor.

A la vista de ello cabe pregun-



Heliostato fotovoltaico con células de silicio.

tarse quién ofrece mayor resistencia a incorporar nuevas técnicas y materiales:

– ¿Los políticos, con una visión del sector construcción como infinita bolsa de trabajo para mano de obra descualificada?

– ¿Los ciudadanos de a pie, con su apego al concepto e imagen tradicionales del bien inmueble como única posibilidad de ahorro personal o familiar?

– ¿Los constructores, que verían peligrar su actual condición de intermediarios favorecidísimos, al ser mucho más directas las rela-



Detalle de las piezas de madera/aluminio del Exhibit.

ciones entre cliente e industria suministradora?

– ¿Los arquitectos, que parecemos estar dispuestos a renunciar a la capacidad de decisión y control sobre los aspectos materiales de nuestra arquitectura por no hacer una adecuada actualización de nuestros conocimientos técnicos?

Tal vez las dos siguientes frases nos den alguna respuesta.

"La arquitectura es un fenómeno cultural y humanístico tanto o más que tecnológico; y su evolución, por ello, sólo podrá producir-

se en la medida en que estos tres factores evolucionen equilibrada y armoniosamente." Julio Cano Lasso.

"Existe técnica y existe humanismo; quien trate de unirlos hoy es un héroe." Alejandro de la Sota.

Compartiendo totalmente los asertos anteriores, mantengo una pregunta: ¿es razonable que los arquitectos sigan observando lo que ocurre en el campo de los denominados "nuevos materiales" como una mera curiosidad científica que nada tiene que ver con la materialidad de la arquitectura?



Sección de Exhibit con el equipo de Renzo Piano.