

EOI   
NOUS  
MATERIALS



1400.635812

EOI LB  
nous materials

Línies Intensificació

# NOUS MATERIALS de CONSTRUCCIÓ

## **Materials Compostos Reforçats amb fibres**

# Part 3

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
Biblioteca



1400635812

**f. ceres hernández**  
professor titular d'universitat



Diposit legal: B-13703  
BARCELONA-2005

## Lección 7 (3 horas)

*Paneles Exteriores para Fachadas: Paneles monolíticos de Matriz termo-estable (resina de poliéster y fibra de vidrio).- Paneles monolíticos de Matriz termo-estable, (resina epoxy y fibra de carbono).- Paneles de configuración tipo sándwich (núcleo nido de abeja o poliestireno expandido, poliuretano de baja densidad, o poli-cloruro de vinilo.- Paneles termo-conformados a base de un polímero termo-plástico reforzado, ocasionalmente relleno a base de espuma de poliuretano.- Paneles de hormigón reforzado con fibra de vidrio (H.R.F.V).- Cubiertas rígidas.- Cubiertas flexibles.- Cubiertas colgadas.- Paneles para suelos, techos, y paredes.- Fibras para sustituir el armado del hormigón.- Utilización de fibras de alta resistencia en tirantes.-*

Los sistemas de paneles se prestan bien a las reparaciones como ya hemos indicado anteriormente. No obstante, no es esta cualidad la que imprime carácter a estos Nuevos Materiales.

Los paneles de "composites" están formados por una Matriz de base polimérica (generalmente polímeros termo-estables, como la resina de poliéster), y un refuerzo o armadura a base de "fibras" que como hemos indicado en lecciones anteriores, pueden ser de diferente naturaleza, tipo, diámetro, orientación y longitud.

Los paneles para fachadas en los edificios, dependerán del diseño, así como de la función que deban asumir para garantizar el papel encomendado en el proyecto.

En San Cugat del Vallés (provincia de Barcelona), se encuentra el Hospital General de Cataluña cuyos cerramientos verticales de fachadas, (aproximadamente unos 20.000 m<sup>2</sup>) se han ejecutado mediante paneles de matriz de poliéster reforzada con fibra de vidrio.

Las configuraciones de paneles para cerramientos exteriores de fachadas, pueden llevarse a cabo según ocho tipos fundamentales:

- a) Paneles monolíticos compuestos a base de una matriz termo-estable (normalmente resina de poliéster), reforzada con fibra de vidrio, para obras de pequeña y mediana envergadura.

- b) Paneles monolíticos compuestos a base de una matriz termo-estable de resina Epoxi, reforzada con fibra de carbono, para obras de gran envergadura.
- c) Paneles configurados tipo sándwich de nido de abeja.
- d) Paneles configurados tipo sándwich con núcleo de poli-estireno expandido, espuma de poliuretano o poli-cloruro de vinilo.
- e) Paneles de hormigón reforzado con fibra de vidrio.
- f) Paneles de hormigón reforzado con fibra de polímeros.
- g) Paneles de hormigón reforzado con otras fibras (vegetales, sintéticas,.....etc).
- h) Paneles configurados a base de materiales tradicionales, (prefabricados de hormigón aligerado, de madera laminada encolada, aluminio,... etc.

España ha ocupado un buen y honroso lugar en el campo de la Tecnología de los “Composites” o “Materiales Compuestos de base Polimérica”. Con ocasión de las “Jornadas de Composites” que a nivel europeo se celebraron en París en el año 1976 se impartió una conferencia sobre "Cerramientos exteriores integrales en fibra de vidrio" que provocó varias cesiones del “know-how” (discusión de las técnicas más puntuales en aquellos momentos) entre las firmas francesas y alemanas, pioneras en el sector europeo.

Obviamente, se comenzó el apanelamiento de fachadas con piezas sencillas, tales como la fabricación de postizos, antepechos de ventana, remates de coronación, etc. Eran paneles con diseños un tanto originales que servían de ornato y con colores suaves que enmascaraban la mayoría de las veces, edificios anodinos, grises, y sin ningún relieve.

La elaboración de los paneles monolíticos, se inicia por el estudio de la fachada, con una medición exacta de la obra a cubrir y una vez se aprueba el diseño, se espitan o sujetan en la fachada los rastreles y maineles horizontales y verticales, sobre los que se anclarían dichos paneles.

Los paneles son recibidos con tortillería, manipulada con llave de apriete de par constante y de tal manera que todos los paneles se hallen emplazados y colgados; de esta manera y por medio de sujeciones inferiores deslizantes mediante sistema “coliso”, toda la fachada constituida por múltiples paneles puede dilatarse y contraerse a un mismo tiempo y en un único sentido con total libertad.

Este simple detalle fue innovador y supuso un éxito en el comportamiento de la fachada como no se había logrado hasta entonces. Las uniones de las piezas entre sí, se hacen mediante un sistema de machi-hembrado entre las caras que han de estar en contacto, garantizando una perfecta alineación entre las piezas encaradas; procediéndose al acabado mediante su correspondiente sellado de silicona.

De esta manera, se asegura completamente la hermeticidad entre paneles. Se pueden combinar paneles planos con otros de formas diversas, resultando de esta manera, fachadas vivas, creadoras, y en definitiva, un conjunto rico en luces y sombras. Los paneles con espesores de capa de entre 2 a 3 mm., tienen suficiente rigidez, y su peso es de aproximadamente alrededor de unos 4 kgs/m<sup>2</sup>.

Posteriormente se llegó a la fabricación de lo que llamamos "panel integral exterior".

El "Panel integral exterior" no es un postizo, o un cerramiento; se trata de un panel pensado para cumplir incluso una función estructural, ya que puede cubrir la luz entre forjados, colgado en el forjado superior y apoyado en el inferior. De esta manera se salva limpiamente los tres metros de luz que suele tener de media la separación entre forjados en los edificios de nuestro país, sin necesitar ningún tipo de apoyo o refuerzo

Anclados en los forjados y soldados a la estructura se utilizan unos perfiles o pies de apoyo que actúan como receptores de los paneles. Estos perfiles o pies de apoyo van provistos de tornillos de regulación correctores en las tres direcciones del espacio.

Los paneles a su vez, fabricados lejos de su emplazamiento en obra, llevan incorporados unos refuerzos necesarios para no recibir daños importantes durante su transporte.

La labor más delicada de toda la obra, recae en el estudio preciso de la fachada con todo detalle de despiece, y la fijación de los pies de apoyo que deben soportar a los paneles

Los paneles pueden ser ciegos, o bien incorporar marcos para ventanas, o una configuración de sándwich; pero siempre respondiendo al concepto de integral. La ligereza de estos paneles de gran envergadura, permite alzarlos y manipularlos con bastante facilidad. Un panel de 2.5 x 3 m., de superficie, viene a pesar alrededor de unos 40 kg.

También se construyó con paneles integrados de Resina de Poliéster reforzada con fibra de vidrio, una obra singular que marcó el inicio de una época. Se trata del Hospital General de Cataluña, ubicado en San Cugat del Vallés (Barcelona), al cual ya hemos hecho referencia.

Dado que está asentado en una zona sísmica se estudiaron sistemas de anclaje de los paneles a los forjados en los que intervenían trenes móviles de rodadura.

El edificio puede abrirse o cerrarse hasta 20 cm., sin que este desplazamiento suponga la caída o rotura del panel. Esto fue posible debido a que el módulo de Young de los paneles realizados en materiales compuestos, es más de 10 veces superior al del hormigón. Esta singularidad del panel, le permite absorber grandes esfuerzos.

A esto debe también añadirse la extraordinaria ligereza que gravita en el exterior de las líneas de forjado, lo que supone una gran seguridad frente al colapso.

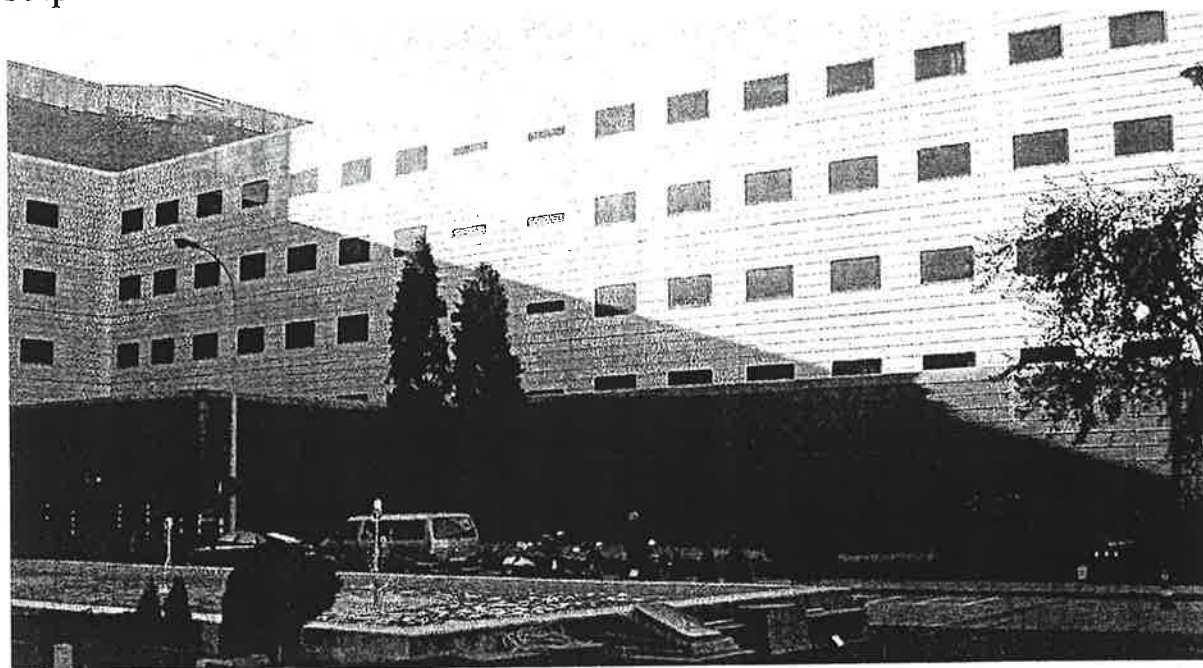
También el estudio de las juntas del panel o sellado permite que cada panel se pueda mover de manera independiente, evitando la transmisión de tensiones.



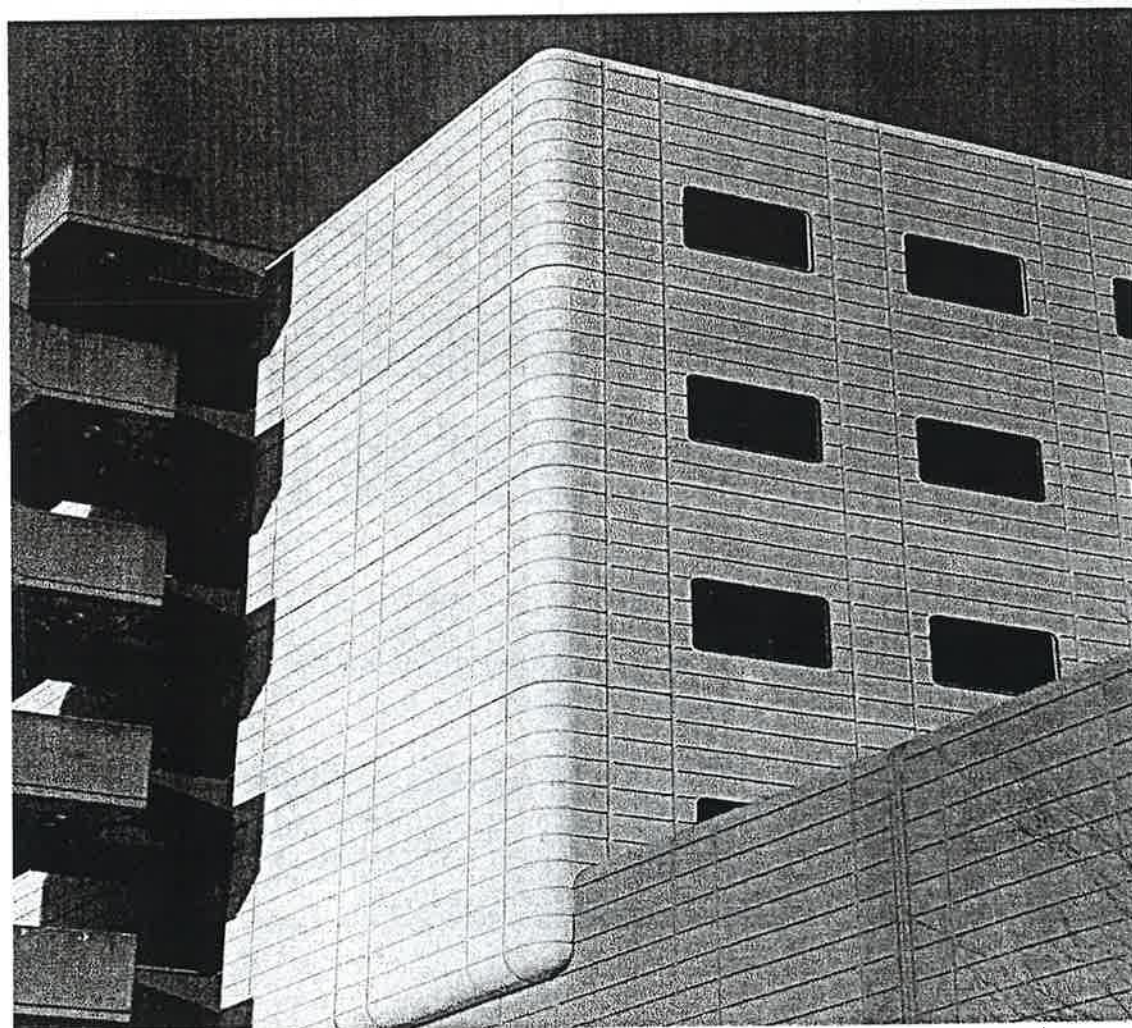
**PANEL MODULAR INTEGRAL de  
Resina de POLIESTER reforzada con  
Fibra de Vidrio**



Toda esta tecnología surgió con motivo del Concurso Internacional sobre la ciudad argelina de Asaln, que había sido destruida por un terremoto. El sistema de sujeción por trenes rodantes fue una de las técnicas más sorprendentes del momento.



**FACHADAS** realizadas íntegramente con Materiales Compuestos Poliméricos  
Paneles termo-estables de Matriz de resina de Poliester reforzada con Fibra de Vidrio



**HOSPITAL GENERAL de CATALUNYA (San Cugat del Vallés)**  
(Detalle del "APANELAMIENTO" de Fachadas)

## **PANELES para MUROS, TABIQUES, SUELOS y TECHOS**

Durante los años 70 y comienzo de los 80 se levantaron prestigiosos edificios en Gran Bretaña, entre los que destacan la Morpeth School, la Mondial House (el cuartel general de GPO en Londres), el Mercado de las Flores de Covent Garden y el Edificio de American Express en Brighton.

Salvo la escuela de Morpeth, los edificios consistían en sistemas de Materiales Compuestos con unidades de acero u hormigón reforzado como principal elemento estructural y GRP en calidad de paneles rellenos con carga.

Los Nuevos Materiales en panelería, se utilizan en cuatro modalidades:

- a) en primer lugar se utiliza la fibra de vidrio, como material aislante, sobre un panel o muro tradicional
- b) en segundo lugar se ejecutan paneles monolíticos de nuevos materiales, normalmente fibra de vidrio
- c) en tercer lugar, se construyen techos de yeso reforzado con fibra de vidrio.
- d) finalmente se utilizan estructuras tipo sándwich, que se componen de dos caras y un material intermedio que suele ser una espuma o un nido de abeja

### **Paneles con fibra de vidrio como material aislante**

Es un material en forma de fibras, que son obtenidas del vidrio por diversos procedimientos. En España se fabrica mediante dos procedimientos:

1º Estirado del vidrio por centrifugación, al caer éste sobre un disco dotado de un movimiento muy rápido de rotación, obteniéndose la fibra llamada *lana de vidrio*.

2º Estirado mecánico del vidrio fundido por hileras de diámetro variable y su enrollamiento sobre tambores que giran a gran velocidad. El producto que se obtiene se llama *seda de vidrio*.

Este material ha constituido una auténtica revolución en la técnica del aislamiento térmico. Aparte de sus propiedades de aislamiento, es incombustible e imputrescible, de fácil colocación y de poco peso, lo que puede representar un importante ahorro energético

## Paneles para recubrimiento de edificios

Los paneles estructurales perfilados se han usado para reemplazar uniones y tejados de metal o cemento - asbestos en numerosas plantas industriales en condiciones ambientales altamente corrosivas, tales como cogeneración, explotaciones mineras, y plantas de procesos químicos.

Veamos el siguiente ejercicio:

Requerimientos:

- Capacidad para mantener cargas de  $2500 \text{ N/m}^2$  en tamaños de hasta 2 metros.
- Retardancia al fuego.
- Resistencia a radiaciones UV
- Resistencia a agentes químicos
- Longitud/deflexión = 90; suficientemente alta para impedir la ampliación del agujero de cierre causada por una deflexión considerable - con el fin de igualar el comportamiento de los paneles metálicos y reducir las posibilidades de escapes.

Solución:

- Proceso de laminación continua con fibras unidireccionales
- Fibra transversal y mat
- Resina retardante al fuego
- Resinas poliéster y viniléster

## Yeso reforzado con fibra de vidrio

El yeso reforzado con fibra de vidrio constituye una alternativa de enorme interés para techos de edificaciones. La resistencia del yeso reforzado con fibra de vidrio es aproximadamente dos veces superior a la del yeso sin reforzar.

Para determinar el tipo y la calidad de la fibra de vidrio a introducir se manejan tres parámetros: el ensimaje, la longitud del hilo y la relación de peso entre la fibra de vidrio y la escayola seca.

La adición del ensimaje o apresto del hilo a la escayola en el transcurso del mezclado, supone una dificultad mayor de adherencia entre los dos materiales, pero según las características de este ensimaje la falta de adherencia puede ser mayor o menor, por eso los “ensimajes” aquí añadidos son compatibles con la escayola y no perjudican la adherencia entre los dos materiales.

Por otra parte, es interesante conocer como varían las propiedades del GRG dependiendo de la longitud de la fibra, así como la influencia que tiene el contenido de dicha fibra en el comportamiento del material compuesto; la determinación de esta influencia que tiene el contenido se llevó a cabo simultáneamente efectuando ensayos sistemáticos a flexión y a tracción, siguiendo unas determinadas condiciones de ensayo. La escayola utilizada está en estado molido y fue amasada con una relación  $A/Y = 0,8$ .

Los ensayos a tracción se realizaron sobre probetas normalizadas de  $8 \times 5 \text{ cm}^2$  de sección, con una velocidad de tracción de 1 mm., por minuto.

Los ensayos a flexión se realizaron sobre probetas prismáticas de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ , con una distancia entre los apoyos de 10 cm., y con una velocidad de descenso del punzón de 10 mm., /minuto.

Ambos ensayos fueron hechos en probetas de edad variable en su envejecimiento natural: 2 horas, 24 horas, 7 días y 28 días.

Finalmente, los ensayos se llevaron a cabo con una atmósfera condicionada a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  y a una humedad relativa próxima al 65 %, habiéndose tomado las medidas con un dinamómetro.

Una vez se ha procedido a la rotura de las probetas, y analizadas las gráficas, se pueden sacar las primeras impresiones; del examen de las gráficas se desprende que el contenido de fibra de vidrio óptimo se encuentra entre el 0,9 y el 1 % en relación con el peso de la escayola seca. La propia experiencia nos muestra que por encima de dicho porcentaje se presentan problemas de dispersión de las fibras, así como problemas de amasado; además,

Las curvas muestran que sobrepasando el límite de 1 % de fibra, las propiedades de la escayola se ven notablemente disminuidas. Sobre la longitud de los hilos se pueden utilizar dos medidas óptimas que son los hilos cortados a 12,5 o a 25 mm; no obstante, es preferible utilizar los hilos de 12,5 mm dado que presentan una mayor facilidad de manejo y que se obtienen los mismos resultados que con fibras de 25 mm.

La curva que se obtiene de la mejora de la resistencia a flexión, en función de los tiempos de envejecimiento, muestra que el refuerzo que supone la fibra de vidrio tiene un máximo de eficacia en las probetas de 7 horas, para pasar a un mínimo de eficacia en las probetas de 24 horas y luego el hilo de vidrio vuelve a recuperar su eficacia normal; es evidente que dicho mínimo aparece en el caso de envejecimiento natural, no así cuando se procede al secado de probetas en estufa a 40 °C, en cuyo caso la resistencia del material es la que presenta definitivamente.

De estos ensayos se desprende que la fibra de vidrio adicionada a la pasta de escayola, cortada en hilos de 12,5 mm y a razón de 1 % del peso de la escayola seca, dobla sensiblemente la resistencia a flexión y a tracción de la escayola sin fibra de vidrio. Estas mejoras se han medido sobre probetas de forma geométrica simple, pero es obvio que cuando se acomete el molde de piezas más complejas, se mantienen las mejoras a flexión (conservando las condiciones del ensayo), incluso se triplica la resistencia del momento flector.

Del mismo modo, la resistencia al choque se ve mejorada; el aumento de las características de flexión y tracción, al igual que el choque, supone una gran ventaja en el transcurso del transporte y manipulación en la obra, ya que actualmente se producen muchos desperfectos por dichas causas.

### **Paneles sándwich**

Los PRFV, y en mayor medida los demás materiales plásticos y en especial los termoplásticos, presentan el inconveniente de un módulo de elasticidad relativamente bajo, que los pone en desventaja con respecto a los metales en la realización de determinadas formas simples, de reducido espesor y gran desarrollo superficial, como por ejemplo las obtenidas de chapas.

Como es sabido, la resistencia a la deformación por flexión de un elemento estructural cualquiera es directamente proporcional al módulo de elasticidad del material, (E), y al momento de inercia, (I), de la sección transversal del propio elemento ; el producto de los correspondientes valores (E x I) constituye el "índice de rigidez" y de este "índice", depende la magnitud de la deformación a la flexión para una determinada carga del elemento considerado, en función de otros factores dados (distribución de la carga, distancia entre los apoyos o puntos de fijación, naturaleza, número y posición de éstos).

Dicha fórmula, además de otros aspectos que no consideraremos, sugiere inmediatamente los procedimientos más oportunos mediante los cuales es posible mejorar la rigidez de una pieza de plástico reforzado, sin necesidad de recurrir a exagerados y antieconómicos aumentos de espesores; a saber:

- incorporar a la estructura elementos realizados con materiales dotados de un elevado módulo de elasticidad propia;
- adoptar formas complejas de doble curvatura, paraboloides, conoides, acanaladas, nervadas, con bordes más gruesos, con sobre-espesores localizados, etc., capaces de proporcionar la debida rigidez, sin requerir cantidades de materiales sensiblemente mayores;
- aumentar el momento de inercia de la sección, dividiendo el material resistente en dos capas superficiales separadas entre sí y desplazadas hacia afuera por medio de un elemento separador de baja densidad, constituyendo lo que se conoce como una estructura sándwich.

**PANELES de configuración tipo SANDWICH, de nido de abeja o con núcleo de poli-estireno expandido, espuma de poliuretano o poli-cloruro de vinilo.**

**a) Paneles SANDWICH con espuma de poliuretano como núcleo**

El crecimiento en Europa del uso de paneles sándwich con pieles de nuevos materiales en los últimos años, ha sido significativo.

Los paneles sándwich de poliéster reforzado con fibra de vidrio (los que constan de dos pieles o capas de poliéster reforzado con fibra de vidrio unidas a un núcleo de espuma) pueden obtenerse utilizando técnicas sencillas para fabricarlas manualmente: inyectar o cortar la espuma de un bloque y ensamblar finalmente.

Actualmente, los sistemas de "gel coat" han mejorado considerablemente, en cuanto a su resistencia a la intemperie, afectado en el deterioro del color y del brillo por los agentes atmosféricos y el sol.

Los problemas debidos a la diferencia en la expansión térmica entre los paneles y las vigas soporte se han resuelto mediante sistemas que permiten que los paneles puedan moverse libremente, pero de forma que este movimiento no se aprecie desde el exterior, con lo cual se conserva la exigencia o requerimiento de estética impuesto en el proyecto.

La pultrusión y el termo-conformado, son los procedimientos más utilizados en la elaboración de este tipo de paneles. Empresas tales como Bekaert Composites (Oudenaarde, Bélgica), Creative Pultrusions (Alum Park, PA) y Owens Coming Fiberglass están dedicadas a la fabricación por pultrusión.

La empresa Bekaert fabrica perfiles por pultrusión para proyectos diversos de restauración de estaciones de servicio Mobil en toda Europa. La compañía Greg McCoy, fabrica paneles huecos (tipo sándwich), de hasta 1.5 m de ancho en los cuales puede inyectarse espuma de poliuretano.

En los paneles de configuración tipo sándwich, en la que existen dos pieles o capas de resina de poliéster, reforzadas con fibra de vidrio separadas por un núcleo, la espuma (además de poliuretano), puede ser fenólica, poli-cloruro de vinilo o una estructura de nido de abeja.

Los paneles, que tienen núcleos de poli-estireno (EPS) de 30 cm., unidos a las pieles mediante adhesivos de poliuretano, se usan tanto en el interior como en el exterior de los edificios

La comercialización de este tipo de paneles tiene sus aplicaciones en campos donde se requieran altos niveles de confort, de higiene y de resistencia a la corrosión, como en Edificación, en Centros Hospitalarios, Industrias lácteas y alimentarias, estaciones de bomberos, Estaciones de Servicios, etc.

En la construcción de fachadas, la tendencia actual es utilizar este tipo de paneles con núcleo de nido de abeja de aluminio. También se fabrican paneles con alma de poli-estireno expandido, poliuretano o policloruro de vinilo.

#### **b) Paneles SADWICH con de nido de abeja como núcleo**

Estos paneles usados principalmente en revestimientos de fachadas, ofrecen soluciones en aquellos lugares donde la madera, el acero o los plásticos no pueden satisfacer los requerimientos mecánicos. La excelente relación “resistencia / peso” de estos paneles, hace que este producto sea el material ideal para la mayoría de las industrias con exigencias de elementos resistentes y ligeros.

Las características de paneles de nido de abeja Standard son:

- Núcleo de nido de abeja, celdas de 6 mm., densidad de  $69 \text{ kg/m}^3$
- Resistencia a compresión de los paneles:  $25 \text{ bars} = 25 \text{ kg/cm}^2$ .
- 3 espesores diferentes

Existe también una variada gama de nido de abeja de aluminio para uso comercial que presenta unas características mecánicas excelentes. Este material, con estructura de celdas hexagonales, puede aplicarse en paneles de soporte.

#### **Paneles “Termo-conformados” a base de termoplástico reforzado con 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 poli-carbonatos, se ha desarrollado un nuevo material con fines de revestimiento. Este “Nuevo Material” se basa en planchas conformables de poli-carbonato con carga de vidrio, y constituye una buena solución para paneles de revestimiento en edificios destinados a oficinas.



Durante el proceso de termo-conformado, el calor de la plancha de polycarbonato funde la superficie del moldeado de espuma (EPS) proporcionando una unión que se refuerza cuando la plancha se contrae al enfriarse.

Los paneles pueden rellenarse también con espuma de PUR después del conformado, utilizando técnicas de “molde cerrado”. En algunos casos, los paneles no llevan incorporado necesariamente ningún tipo de aislamiento térmico, formando sobre el soporte interior (cerámico, piedra u hormigón), la envoltura interior del edificio: no obstante, estos paneles suelen incorporar un aislamiento de espuma (EPS) en su interior, como ya hemos indicado anteriormente, durante el proceso de termo-conformado.

### **Hormigón reforzado con fibra de vidrio AR**

El hormigón reforzado con fibra de vidrio AR (HRFV) es uno de los materiales de construcción más innovadores que facilita al arquitecto oportunidades de diseño, sin precedentes hasta el momento. Se utiliza en :

- Paneles arquitectónicos
- Sistemas de construcción
- \* Placas de recubrimiento en obra

Es un hormigón en el que la armadura metálica es sustituida por fibra de vidrio, la cual absorbe los esfuerzos de tracción.

De esta manera, se consigue un elemento ligero, debido a su reducido espesor, ya que con la fibra de vidrio como armadura, no es necesario proteger los elementos metálicos contra la corrosión, reduciéndose considerablemente el espesor al no ser importantes los recubrimientos de la armadura, por lo que se reduce tanto el peso muerto o peso propio como el costo.

El HRFV es un material con grandes posibilidades formales que permiten al diseñador, (arquitecto o ingeniero), utilizarlo como paneles de cerramiento de fachadas, antepechos de ventanas, forros de pilares, paneles decorativos para interiores, etc.

Este material permite gran flexibilidad en el diseño de paneles con texturas y colores diferentes, pudiendo tener un acabado liso, rayado, imitando paneles metálicos (aluminio), con terminación pétreo, así como de juntas, relieves, etc., que en su conjunto, componen y potencian el resultado estético final del edificio.

Por su diseño flexible en texturas, moldeos y acabados superficiales, puede combinarse en armonía con otros materiales (ladrillo, aluminio, piedra, muro cortina, etc.).

La realización de réplicas exactas de elementos ornamentales de edificios históricos puede hacerse con HRFV (columnas, capiteles, cornisas, frisos, etc.), de lo que se deduce que es un producto ideal para la rehabilitación de edificios, no transmitiéndose, además, (dada su ligereza), cargas importantes sobre la estructura existente.

Sus posibilidades formales permiten crear retranqueos en huecos de ventanas y celosías, que sirven de protección contra la incidencia directa de los rayos solares, sin disminuir el grado de iluminación natural interior del edificio. 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.

Entre otras ventajas podemos citar las siguientes:

- \* Eliminación de puentes térmicos, ya que los paneles se colocan pasantes por delante de la estructura.
- \* Es un material inorgánico que al arder no produce gases nocivos, como en el caso de los paneles de matriz orgánica o polimérica.
- \* Los paneles de Hormigón reforzado con fibra de vidrio (HRFV), gracias a su sistema móvil de anclaje, son adaptables a cualquier tipo de estructura.

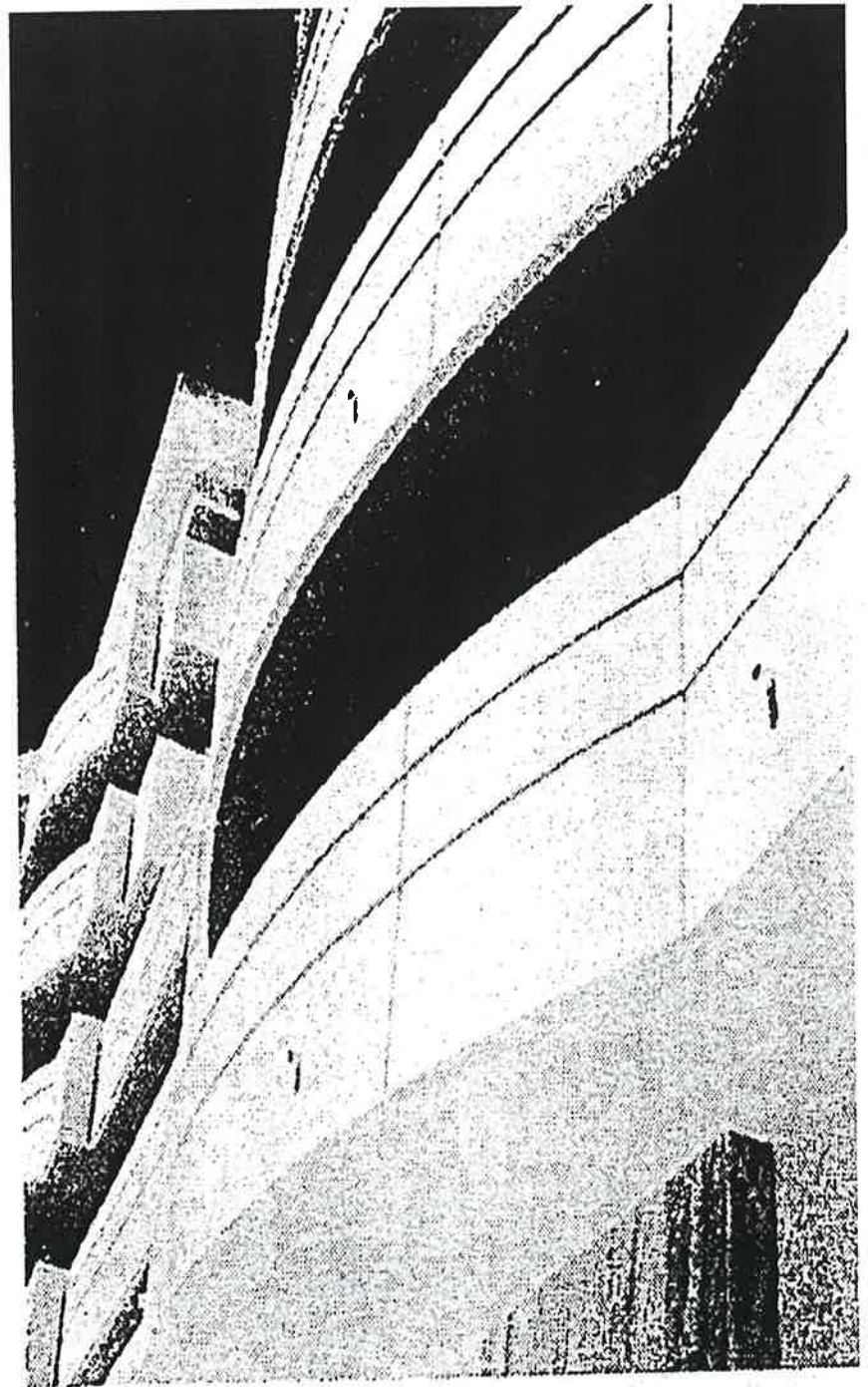
Todo lo anteriormente expuesto demuestra su facilidad de ejecución, transporte y montaje, utilizando grúas de poco tonelaje y estructura auxiliar de escasa entidad debido a su ligereza, lo que conlleva importantes reducciones tanto en los costos como en los plazos de ejecución de la obra.

La cara vista de los paneles de (HRFV) se pueden modelar con rebajes que separen o diferencien las áreas de acabado pulido, de las áreas con acabado a base de chorreado de arena.

La técnica del (HRFV) en acabado de granito reconstituido (también llamado "piedra artificial") fue iniciada en Australia por el fabricante de Vidrio AR HRFV Precast Concrete Pty Ltd..Se han realizado paneles con hueco para ventana, de hasta 3,5 m., x 3,5 m., para recibir ventanas de 2,4 m., x 2,4 m.El anclaje a la estructura se puede llevar a cabo mediante ángulos galvanizados o de acero inoxidable, con ranura que permiten un movimiento de tres grados para facilitar su montaje.

Previo al montaje, se procede al pre-acristalado de todos los paneles, con objeto de reducir el tiempo de montaje de fachada y para conseguir cerrar cada nivel una vez completado el montaje, permitiendo así el inicio de los trabajos internos en un ambiente seco

El Hormigón reforzado con fibra de vidrio (HRFV), fue objeto de la atención internacional en los Juegos Olímpicos de 1992 en Barcelona. Se utilizaron más de 80.000 m<sup>2</sup> de paneles de revestimiento fabricados por Dragados y Construcciones, en la fachada exterior del edificio oficial de alojamiento de la Prensa, según se muestra en la figura



DETALLE de PANELES de HRFV en el Edificio de la Prensa en los Juegos Olímpicos (Barcelona)

En total se fabricaron 21.000 paneles en 700 modelos diferentes. La superficie media de los paneles fue de 8,3 m<sup>2</sup>, alcanzando los paneles más grandes 2,4 m x 3,0 m. Para la fabricación de estos paneles se hicieron 18 moldes maestros que, con algunas modificaciones, dieron lugar a 90 moldes diferentes. Estos 90 moldes a su vez fueron modificados de acuerdo con los requerimientos específicos del edificio que dieron lugar a los 700 paneles diferentes que se utilizaron.

La fabricación de los paneles fue completada en 11 meses y se produjeron alrededor de 64.000 m<sup>2</sup> de paneles-sándwich que fueron utilizados para aislar los muros exteriores de los apartamentos para alojamiento de la Prensa, más otros 16.000 m<sup>2</sup> de lámina sencilla utilizados en los parapetos y zonas no-aisladas.

La fabricación de los paneles se llevó a cabo en la fábrica de Torrejón de Ardoz en las cercanías de Madrid. Esta fábrica consta de un área de producción de 1.000 m<sup>2</sup> además de la superficie dedicada al almacenamiento. En el período-punta se fabricaban 300 m<sup>2</sup> al día con 45 obreros trabajando 8 horas al día en dos turnos diarios. Después de desmoldear y curar, los paneles fueron preparados y pintados en la fábrica con pintura acrílica con isocianatos. La capa final se aplicó tras la colocación de los paneles en la obra.

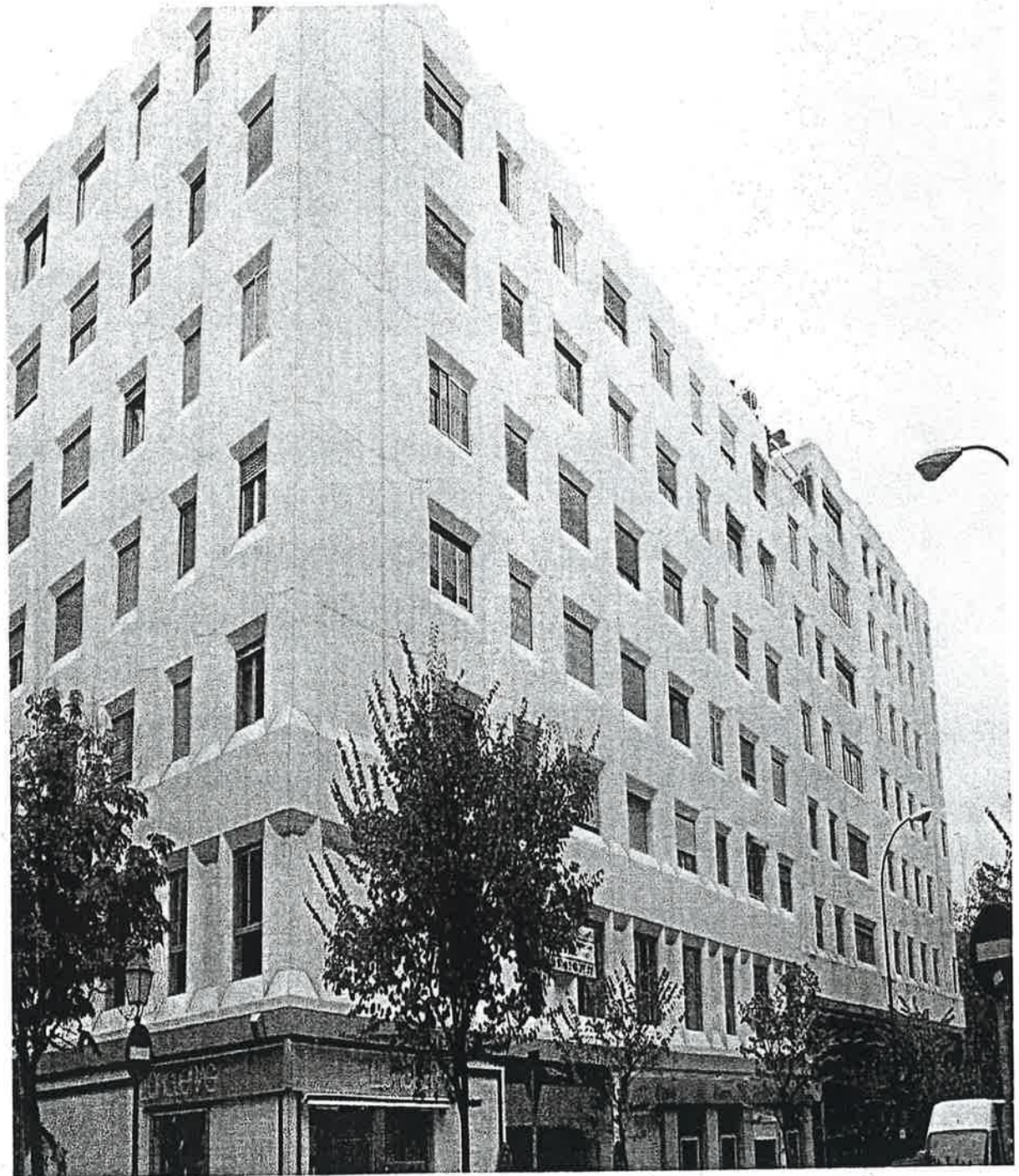
El montaje lo realizaron 10 equipos de 3 hombres que montaban 20 paneles por día, es decir, 200 paneles diarios. Se mantuvo un stock de 14 días para minimizar los efectos de posibles huelgas de transporte o retrasos de producción. Era muy importante que el contrato estuviera finalizado a tiempo.

La utilización de elementos de fachada de HRFV en el proyecto Maneges, situados a escasos 100 m del palacio de Versalles, es considerado como uno de los proyectos más importantes y prestigiosos desarrollados con HRFV en Francia.

En la obra, que consta de dos hoteles de 100 y 150 habitaciones respectivamente, más de un edificio de apartamentos y de distintos edificios de oficinas, fueron utilizados un total de 5500 m<sup>2</sup> de elementos de fachada en HRFV con revestimiento exterior.

En total se produjeron 1130 paneles de HRFV de distintos tamaños que iban desde 0,5 m<sup>2</sup> hasta 18 m<sup>2</sup>. Los paneles fueron dotados de un acabado de color amarillo-ocre producido mediante el uso de arena natural para que fueran en consonancia con los edificios históricos colindantes.

El arquitecto principal del proyecto fue De Gabrieli, del Gabinete BGK de París; la consultoría a cargo de la empresa OTH y el contratista principal, Leon Grosse.



PANELES de HORMIGÓN reforzado con FIBRA de VIDRIO (AR)  
PANELES (HRFV)

## CUBIERTAS

A inicio de los años 80 fue concluido el complejo abovedado en el aeropuerto internacional de Sharajah, que puede ser considerada como la obra original de cubiertas en “**nuevos materiales**”. Se utilizó fibra de vidrio con resina de poliéster.

El sistema de bóveda de cañón del estadio de fútbol de la ciudad de Manchester, terminado también a mitad de los años 80, es otro ejemplo de estructura en un espacio continuo.

En dicha estructura, las secciones de desagües de poliéster reforzado con fibra de vidrio se fijaron a vigas de hormigón reforzado de 1 metro de profundidad y dentro de cada sección de desagüe se fijaron módulos de bóvedas de GRP de 5 metros por 1.5 para extenderlos entre las vigas de hormigón reforzado.

En la actualidad se pueden distinguir dos tipos fundamentales de configuraciones de cubiertas realizadas con “**nuevos materiales**”:

- **Construcciones rígidas**, donde una estructura de nuevos materiales confiere la rigidez al conjunto.

Se pueden contemplar distintas soluciones estructurales.

- a) En primer lugar, pueden utilizarse laminados de fibra de vidrio y matriz termoestable
- b) En segundo lugar, placa ondulada, ya sea de fibra de vidrio (E) con resina de poliéster o de fibra de vidrio (AR) con hormigón.
- c) En tercer lugar, sándwich de nido de abeja, normalmente a base de poli-propileno.
- d) Y en cuarto lugar, termo-conformados de termoplástico reforzado con carga de fibra de vidrio, normalmente poli-carbonato.

- **Estructuras flexibles de membrana**

e) metalo-textil, donde tejidos de fibra de vidrio o de poliéster combinados con una matriz termo-plástica como el teflón o el policloruro de vinilo, son soportados normalmente por una estructura metálica o de hormigón armado

f) de membrana flexible-hormigón, donde éste se cubre con una membrana, tejida o tricotada de hilo continuo de poliéster.

Estos son los seis tipos de configuraciones de cubiertas realizadas a base de "nuevos materiales".

## Cubiertas flexibles

### La estructura metalo-textil

Los nuevos materiales han generado un nuevo concepto de arquitectura: la arquitectura textil. Los nuevos materiales textiles arquitectónicos no han sido únicamente una solución desde el punto de vista de materiales sino que han configurado un nuevo estilo que asocia modernismo, belleza y ambientes agradables.

Construcciones cubiertas al aire libre, así como estructuras hinchables son ejemplos bien conocidos de lo que conocemos como arquitectura textil. A las pesadas telas de algodón (o lonas), les han sucedido tejidos de policloruro de vinilo y materiales flexibles o también conocidos como membranas, (ignífugas), de un peso máximo de 800 a 900 g/m<sup>2</sup> sin características mecánicas elevadas ya que van soportadas normalmente por una estructura metálica, que puede ser convencional, de madera laminada o aire a presión, o bien por perfiles de pultrusión y tirantes de poli-amidas o de "aramidas" como tirantes de máxima resistencia.

El empleo de tejidos de 500 a 900 g/m<sup>2</sup>, ignífugos, da una idea del volumen de mercado para esta construcción textil: se consume anualmente en Europa del orden de veinte millones de metros cuadrados. El consumo de este tipo de construcción en nuestro país es muy pobre, ya que este tipo de técnicas está aún poco extendida.

Desde 1980, aparecieron en los Estados Unidos, y más tarde en Europa, un nuevo tipo de arquitectura de formas geométricas complejas, de doble curvatura, obtenidas a partir de poner en tensión a una membrana flexible autoportante mediante distintos sistemas:

- a) pretensión lineal de los bordes rígidos y más adelante de los bordes flexibles
- b) pretensión puntual a través de arcos, mástiles o amarres directos al suelo
- c) mediante combinación de los dos sistemas descritos

De esta forma se garantiza la estabilidad del cerramiento y el equilibrio de la construcción ante vientos de tempestad o bajo el efecto de sobrecarga de nieve.

Este tipo de arquitectura ha sido implementado en numerosas aplicaciones. Cabe destacar el campo de infraestructuras ferroviarias. En Francia, se ha elegido este tipo de arquitectura para treinta y seis estaciones del TGV Atlántico. En España, la Estación del Tren de Alta Velocidad Española en la Exposición Universal de Sevilla (1992) Se utilizó doble membrana de poliéster reforzado con tejido de policloruro de vinilo.

### **La membrana flexible de nuevos materiales**

Son autoportantes, con características mecánicas medias, combinan un refuerzo de tejido de filamentos textiles continuos con altas características mecánicas y una matriz termo-plástica flexible multi-funcional, por lo que:

- a) dan la forma geométrica a la membrana
- b) protegen a los filamentos contra la abrasión, intemperie, rayos ultravioletas
- c) aseguran la estanqueidad
- d) confieren la termo-soldabilidad del material
- e) dan el carácter ignífugo
- f) imprimen el colorido a la membrana

Existen dos tipos de membranas:

- **Fibras de Poliéster y Policloruro de vinilo**

En Europa, el 95 % de las membranas construidas corresponden a esta tipología debido fundamentalmente a la relación calidad/coste de este material. Este tipo de membrana esta clasificada al fuego como M2 en Francia y B2 en Alemania. Son uniformemente translúcidas a la luz (10 % de media). La vida de una estructura de este tipo es de 10/20 años, dependiendo de si la construcción es itinerante o fija.

Existen diferentes productos en el mercado: de 1000 a 2000 g/m<sup>2</sup> con cargas de rotura de 6 a 20 toneladas por metro lineal de membrana. La sollicitación de tracción de la membrana se lleva siempre a cabo en la parte inicial de su curva tensión/deformación (zona lineal) y se aplican coeficientes de seguridad entre 5 y 6.



Hace algunos años, en las construcciones iniciales se observó una alteración o ensuciamiento progresivo de su superficie (probablemente, debido a la contaminación atmosférica), más o menos importante según la situación de la obra. Para evitar este problema se fabrican actualmente, materiales compuestos Poliéster/PVC/PVDF autolimpiables.

- **Fibra de vidrio y teflón**

El 5% restante del mercado europeo lo componen tejidos de fibra de vidrio impregnados en teflón. Esta familia de productos fue la primera utilizada en Estados Unidos en arquitectura textil. Son uniformemente translúcidas a la luz (10 % de media). De tres a diez veces más caras que el tipo poliéster y PVC, y están clasificados al fuego (M-0) en Francia, (A-2) en Alemania según la norma DIN 4102 y clase (B) según la norma V ASTM E 108 en Estados Unidos.

La vida de una estructura de este tipo es de 25 a 30 años, dependiendo de si la construcción es itinerante o fija. Este tipo de materiales es intrínsecamente autolimpiable. Sus características mecánicas son iguales a las del tipo poliéster/PVC, a excepción de sus módulos elásticos, mucho más elevados. La técnica de termo-soldadura es más delicada y requiere un mayor tiempo de ejecución, es necesario también tomar precauciones para la confección, manipulación, transporte, montaje y atirantado.

La nueva construcción textil se desarrolla de acuerdo a la expresión de los grandes temas arquitectónicos: materiales, texturas, formas, luz, transparencia, colores, ambientes agradables, facilidad de puesta en obra, facilidad de mantenimiento,...etc.

Un elevado número de técnicos y proyectistas, han explotado las posibilidades de la nueva membrana flexible y sus técnicas de puesta en obra, para transcribir sus sueños en obras audaces, aéreas creativas de ambientes sutiles y cómodos para sus ocupantes. A la construcción textil tradicional, rústica, móvil y efímera, propuesta hasta hace unos años, se contraponen un nuevo estilo "la arquitectura textil" elaborada, estática, equilibrada y de larga duración; en definitiva, un estilo que evoca modernidad.

Se han conseguido ya alturas de 67 metros, paneles de 12 metros y plantas de 30.000 m<sup>2</sup>., y constituye una alternativa sin duda interesante, a los cubrimientos de placa metálica o de vidrio convencionales.

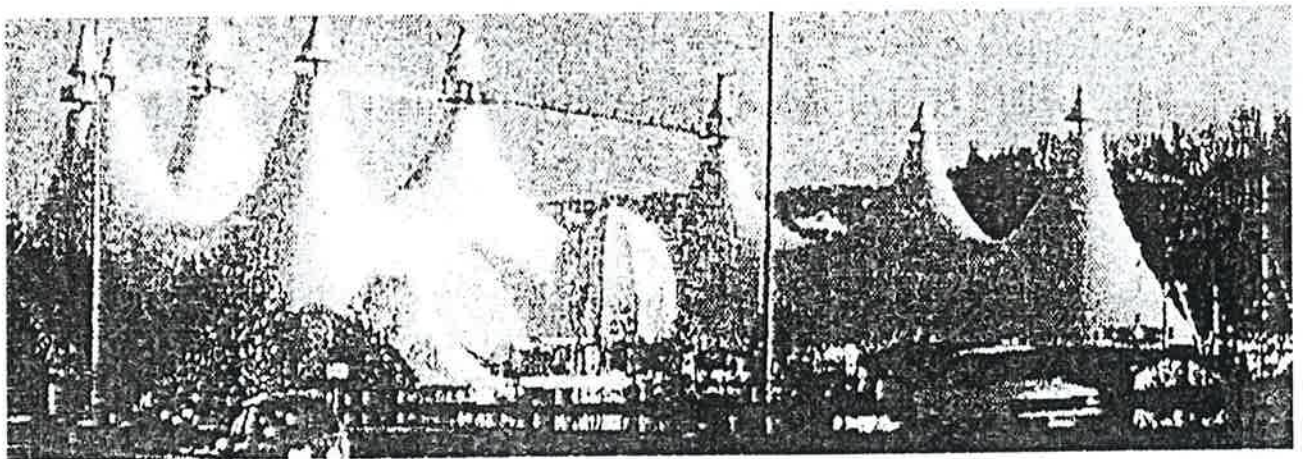
- Con este tipo de construcciones, la seguridad aumenta con la ligereza de la membrana, sobre todo, cuando se tratan de impedir las consecuencias de un hundimiento accidental de pesados cubrimientos como es el caso del acero o de vidrios planos, en lugares públicos.

Las aplicaciones características de este tipo de construcción son estadios o piscinas cubiertas. En Estados Unidos, los gigantescos estadios de fútbol americano están a menudo cubiertos por membranas flexibles. Construcciones similares también se están aplicando por ejemplo a equipamientos urbanos, escuelas, etc.

- Los costes de mantenimiento son prácticamente nulos, ya que estos materiales no sufren ningún tipo de desgaste, corrosión o problema ante sollicitaciones del medio ambiente, si bien, sufren la degradación razonablemente normal, debida a la acción de los agentes exteriores ambientales
- Esta arquitectura textil tiene un carácter latente de "semi-permanente", es decir, pueden permanecer estáticas o pueden desplazarse fácilmente (no tienen cimentaciones), o pueden ser ampliadas a voluntad en función de una reorganización en construcciones industriales o portuarias.
- En este sistema de construcción es importante la facilidad de puesta en obra del proceso, que mantiene la noción de producto industrial: confección soldada al detalle y con todo rigor; prefabricación en taller, manutención extraordinariamente sencilla en el lugar del montaje (1500 m<sup>2</sup> de membrana empaquetados en tramos de 3 m<sup>2</sup>), ensamblaje rápido asegurándose de minimizar los tiempos muertos.

Todas estas ventajas combinadas han sido la razón de ser, de estructuras monumentales como son:

- La Exposición Heureka en Zurich (1991), que supone una de las construcciones de tipo arquitectura textil más grande de mundo con 30.000 m<sup>2</sup> de planta en dos niveles y una altura de los mástiles: 35 a 45 metros.



ARQUITECTURA TEXTIL en la Exposición HEUREKA de Zurich (1991)

La aplicación de membranas flexibles en las diferentes edificaciones, puede ser considerada como precursora de una nueva época

Las perspectivas de desarrollo de la arquitectura textil deben ser confrontadas igualmente con las exigencias presentes y futuras de las personas, o de sus comunidades, que son los utilizadores finales de esta nueva arquitectura. Son tres, las áreas posibles con gran perspectiva de desarrollo:

- **El área de Los transportes.** Las necesidades en infraestructuras y construcciones en los transportes aéreos, por carretera, por ferrocarril, e incluso peatonal, crecerán en gran medida. Los transportes implementan en gran medida la noción de protección y seguridad de las personas y mercancías transportadas. Los recursos de la arquitectura textil en este campo deben intensificarse.

- **El área de La cultura y el ocio.** La demanda de infraestructuras para la práctica de deportes, celebración de espectáculos deportivos y culturales, o bien destinados a turismo va también a crecer considerablemente. Dada la filosofía de la arquitectura textil, ambos aspectos, cultura y ocio, plantearán multitud de posibilidades de aplicación.

- **El área de El aspecto humano,** o entorno de la vida del Hombre, en su vida profesional, que indudablemente, evolucionará considerablemente. La arquitectura textil aportará soluciones no sólo en la creación de nuevas construcciones, sino también en la resolución de problemas más complejos como la gestión de superficies en suelo edificable.

Por ejemplo, la necesidad de reorganización de espacios en relación con el crecimiento tentacular de grandes zonas de concentración ya sea urbana o industrial. La ligereza de la construcción textil:  $10 \text{ Kg/m}^2$  en lugar de 40 a  $50 \text{ Kg/m}^2$  para las cubiertas convencionales, representa un importante parámetro que permite considerar a la arquitectura textil como una seria opción, para la resolución del problema que tiene planteada la sociedad actual.

## **Cables de atirantamiento en la Arquitectura Textil**

Paralelamente al desarrollo de las membranas flexibles en Nuevos Materiales, se han puesto a punto para asegurar su fijación y atirantado sistemas estructurales procedentes de la técnica en la arquitectura naval. Los filamentos de "aramida" (como ya hemos señalado anteriormente), son los más adecuados para esta aplicación. Ensamblados en paralelo, se revisten normalmente por una resina de poliuretano o poliamida. Estos cables poseen e incluso superan, la resistencia del acero, y además no tienen los problemas de peso, y corrosión que presentan los materiales ferrosos.

### **Cables pre-tensados para su utilización puntual en reparaciones.**

Cuando existen desalineaciones de pilares o peligro de colapso de bóvedas, es necesario contener la construcción afectada, para poder llevar a cabo la reparación. Para esta aplicación, los tirantes están compuestos por fibra de carbono o aramida revestidos por resina de polipropileno o poliuretano. Un ejemplo típico es la consolidación de la estación de metro de Ivry en París: para compensar el empuje inicial del fallo del suelo bajo las bóvedas, éstas se reforzaron a base de una sucesión de tirantes compuestos por cables de aramida de 150 toneladas de carga cada uno. Edificios célebres de los siglos XIV y XV se han salvado del colapso por hundimiento, gracias a técnicas de estabilización similares a la ya descrita.

### **La construcción membrana flexible-hormigón**

Esta construcción constituye una simbiosis de gran originalidad. Se puso en marcha en Estados Unidos y posteriormente ha sido transferida a Europa. Se utiliza hormigón y una membrana flexible, tejida o tricotada de hilo continuo de poliéster.

Normalmente, se utilizan superficies de tipo semiesférico, aunque puede aplicarse también a otros tipos de geometría. En su fase preliminar, el procedimiento es similar al de una estructura hinchable:

- colada de un larguero de hormigón sobre el área de implantación
- fijación periférica sobre este larguero de una membrana flexible
- hinchado de la membrana

A partir de aquí, el proceso difiere del correspondiente al de una estructura hinchable:

- a) proyección de una espuma de poliuretano rígido termo-aislante, de un espesor de unos 50 milímetros sobre la pared interna de la membrana
- b) anclaje de un enrejado metálico sobre el revestimiento de espuma
- c) proyección de un velo de hormigón

### **La membrana flexible.**

El papel de la membrana es primordial, puesto que debe servir de molde, asegurar la geometría de la espuma y del hormigón hasta que estos elementos hayan solidificado, y también garantizar la estanqueidad de la obra. El material constituyente de la membrana es un soporte textil de poliéster revestido de policloruro de vinilo flexible en ambas caras.

En el caso más frecuente de una geometría semiesférica, se confeccionan "gajos de naranja", ensamblándose posteriormente.

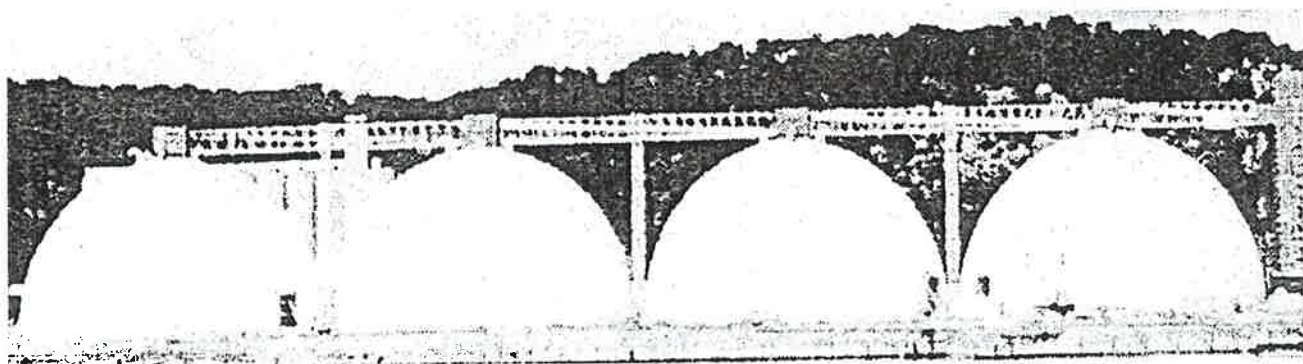
Ventajas de esta técnica en comparación con una estructura hinchable:

- a) no necesita sujeciones debidas a la necesidad de mantener una presión continua en servicio;
- b) no se requiere de la existencia de una cámara, pudiéndose practicar después del endurecimiento todas las aberturas que se consideren necesarias, de cualquier dimensión;
- c) estabilidad ante tensiones aerodinámicas;
- d) aislamiento térmico y ausencia de condensación. y en comparación con una cubierta tradicional:
- e) rapidez de ejecución (alrededor de un mes para una superficie hemisférica de 48 metros de diámetro);
- f) coste inferior entre un 10 a un 15%;
- g) volumen confeccionado enteramente por "gajos" con posibilidad de alcanzar luces muy grandes;
- h) estanqueidad permanente asegurada por la membrana, facilidad de mantener una atmósfera inerte en el interior;
- i) el hormigón está protegido frente a choques térmicos, con menor riesgo de fisuración;
- j) elevada resistencia ante la sobrecarga de viento (estructura en arco);
- k) antisísmica.

Ambas estructuras aquí estudiadas, membranas flexibles con armadura metálica y membranas flexibles con hormigón están planteadas para aplicaciones distintas: las primeras para geometrías con doble curvatura y las segundas para geometrías esféricas.

### **Realizaciones.**

Al día de hoy, este tipo de construcciones se aplica fundamentalmente a los sectores agrícolas y agroalimentarios: tales como silos de grano, azucareras, etc. Como se muestra en la figura adjunta; un conjunto de cuatro silos de cereales erigido en Rouen, con una capacidad unitaria de 28.000 m<sup>3</sup> (48 metros de diámetro).



**ESTRUCTURA de MEMBRANA FLEXIBLE a base de HORMIGÓN  
(Conjunto de cuatro silos para cereales en Rouen)**

En otros sectores, por ejemplo, cabe mencionar la pantalla total del Futuroscope de Poitiers, que es un 2/3 de esfera, de 27 metros de diámetro. Otras construcciones se han ejecutado en el sector industrial, salas dedicadas a la práctica del deporte, congresos, exposiciones, espectáculos, etc.

**Ejemplo de Membrana:**

Referencia: Sainter 847 D

Fabricante: Saint Freres Protection

Naturaleza del soporte textil: Hilos continuos de alta tenacidad

Naturaleza del revestimiento: PVC flexible con una protección anti-Ultravioleta antifúngica y acabado antisuciedad

Peso: 1100 g/m<sup>2</sup>

Resistencia a rotura por tracción: 80 KN/m

Clasificación resistencia al fuego: M-2

## Los paneles como estructura resistente

Existen numerosas aplicaciones donde se utilizan paneles de nuevos materiales como estructura resistente. En estos casos, no se utilizan estructuras de apoyo metálicas o de hormigón armado, ni siquiera perfiles de fibra de vidrio; es el propio panel el que absorbe los esfuerzos mecánicos y térmicos que actúan sobre la edificación.

En este apartado, y a modo de ejemplo, analizaremos dos aplicaciones de absoluta singularidad: el Complejo de la Base Aérea Vicecomodoro Marambio de la Antártida Argentina y el frontón superior del rascacielos del Banco de América en Houston (Texas).

El Complejo de la Base Aérea Vicecomodoro Marambio de la Antártida Argentina está destinado a proveer la necesaria infraestructura de apoyo a los vuelos de las líneas comerciales transpolares. La singularidad de la localización (necesidad de aislamiento térmico) , el transporte de los módulos de construcción y los requerimientos a los que estaba sometida la edificación aconsejaron la utilización integral de paneles sandwich en su construcción.

Todos los edificios de la Base se asienta sobre pilotes de un metro de altura por encima de la meseta y se comunican entre sí por pasadizos también sobre-elevados y rampas de acceso. Incluyen: pabellón científico, torre de radar, pabellón de dormitorios, comedor, casino, hospital, pabellón de dos pisos para el inflado de globos aerostáticos de investigación y un hangar para gimnasio y grandes helicópteros; éste último se ha convertido en uno de los edificios de paneles de fibra de vidrio y matriz termoestable más grandes del mundo sin columnas intermedias: 27 metros de luz, 10.60 metros de altura, con un portón articulado de 22 metros de luz y 6 metros de altura.

En el desarrollo del proyecto a cargo del Centro de Proyectos Avanzados de Diseño de Buenos Aires, sobre la base de una estructura modular sandwich, debieron resolverse problemas técnicos de magnitud, derivados de las limitaciones que imponía el transporte por vía aérea de los módulos y el corto tiempo que se disponía para el ensamblaje de los mismos, debido a las condiciones climáticas de la zona. Por su parte, las condiciones ambientales que debieron tenerse presentes a efectos de cálculo de estabilidad de estructuras, de la hermeticidad de las juntas, del necesario aislamiento térmico y del confort en general, preveían vientos racheados de 300 km/hora, temperaturas del orden de 40 °C bajo cero características de la región austral, y la posible formación de hielo sobre los mecanismos de los cerramientos que pudieran dificultar su maniobra.

Otros aspectos considerados fueron: la posibilidad de incendio relativamente elevada dada la sequedad del ambiente antártico, la carencia de agua en cantidad suficiente para su extinción y la necesidad de asegurar una terminación permanente de las estructuras; lo cual se consiguió con una resina auto-extinguible formulada y con la incorporación de los distintos colores requeridos en las capas de superficie interna y externa de los módulos y paneles; al exterior, naranja.

Cuando existen elementos relacionados con la transmisión o recepción de ondas como parábolas, antenas, emisores, etc, y se plantea un proyecto de cubrimiento de los citados elementos, los materiales tradicionales producen interferencias de manera que su uso no es aconsejable. Sin embargo, los paneles de matriz orgánica (normalmente poliéster) y fibra de vidrio no presentan este inconveniente. Por poner un ejemplo, en Estados Unidos proliferan los rascacielos.

La mayoría de este tipo de modernas construcciones alojan en su parte superior parábolas de recepción de satélites. El cubrimiento de estos elementos se ejecuta en paneles de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

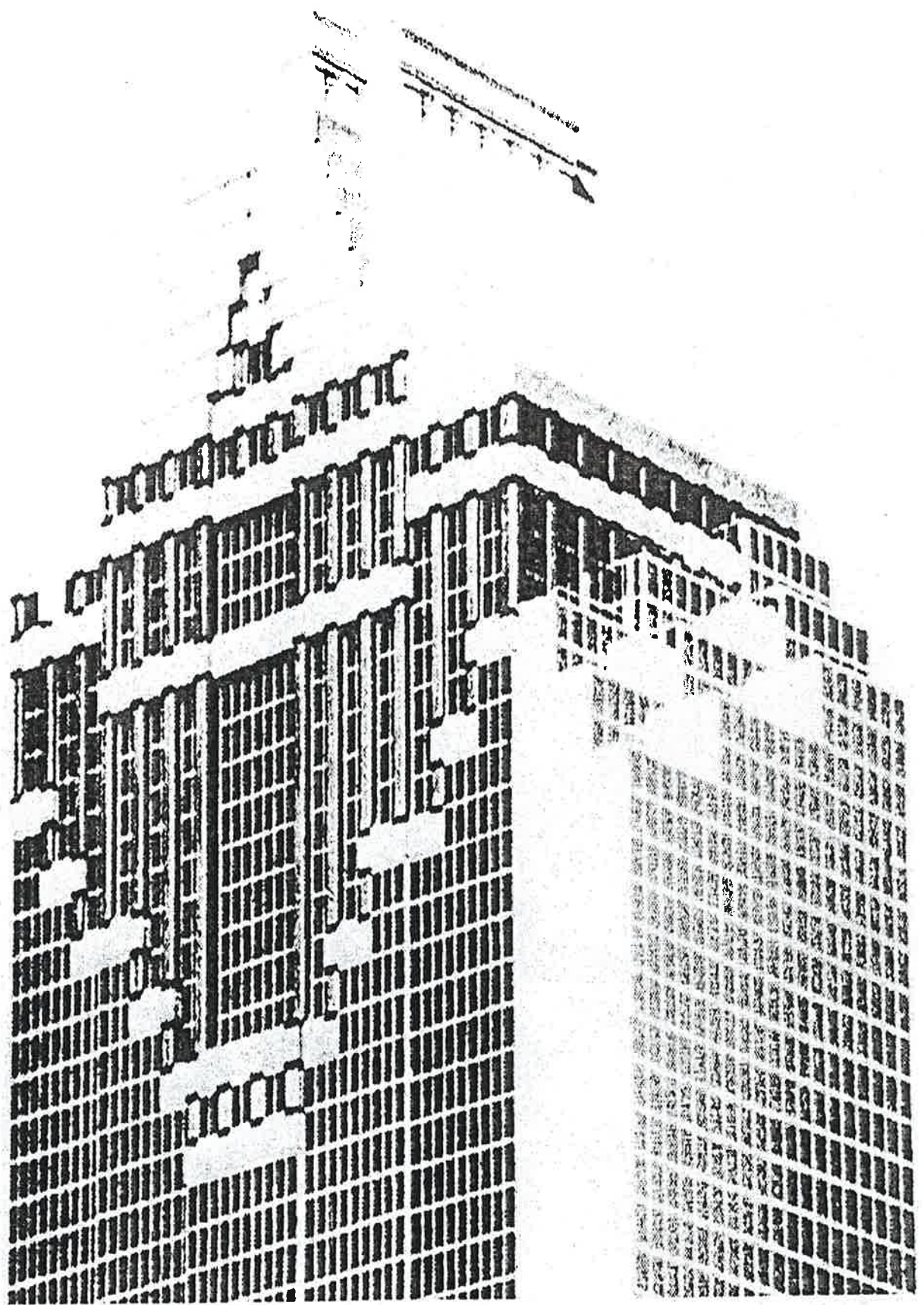
Una aplicación relacionada con este tema es la representada en el frontón de la parte superior o casquete de cubrición del Edificio del Banco de América en la ciudad de Houston (Texas), construido en 1986. El edificio tiene una altura de 252 metros. (ver figura adjunta)

En la parte superior del edificio se aloja un bosque de antenas. El frontón de cubrimiento de la parte superior, tiene un altura de 55 metros, 35 metros de longitud y 21 metros de anchura, un perímetro de  $110 \text{ m}^2$  y una superficie de cubrimiento de  $1100 \text{ m}^2$ .

La construcción se acometió en estructura metálica y paneles de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Se utilizaron  $1100 \text{ m}^2$  de estratificado, con un peso aproximado de 30 toneladas.

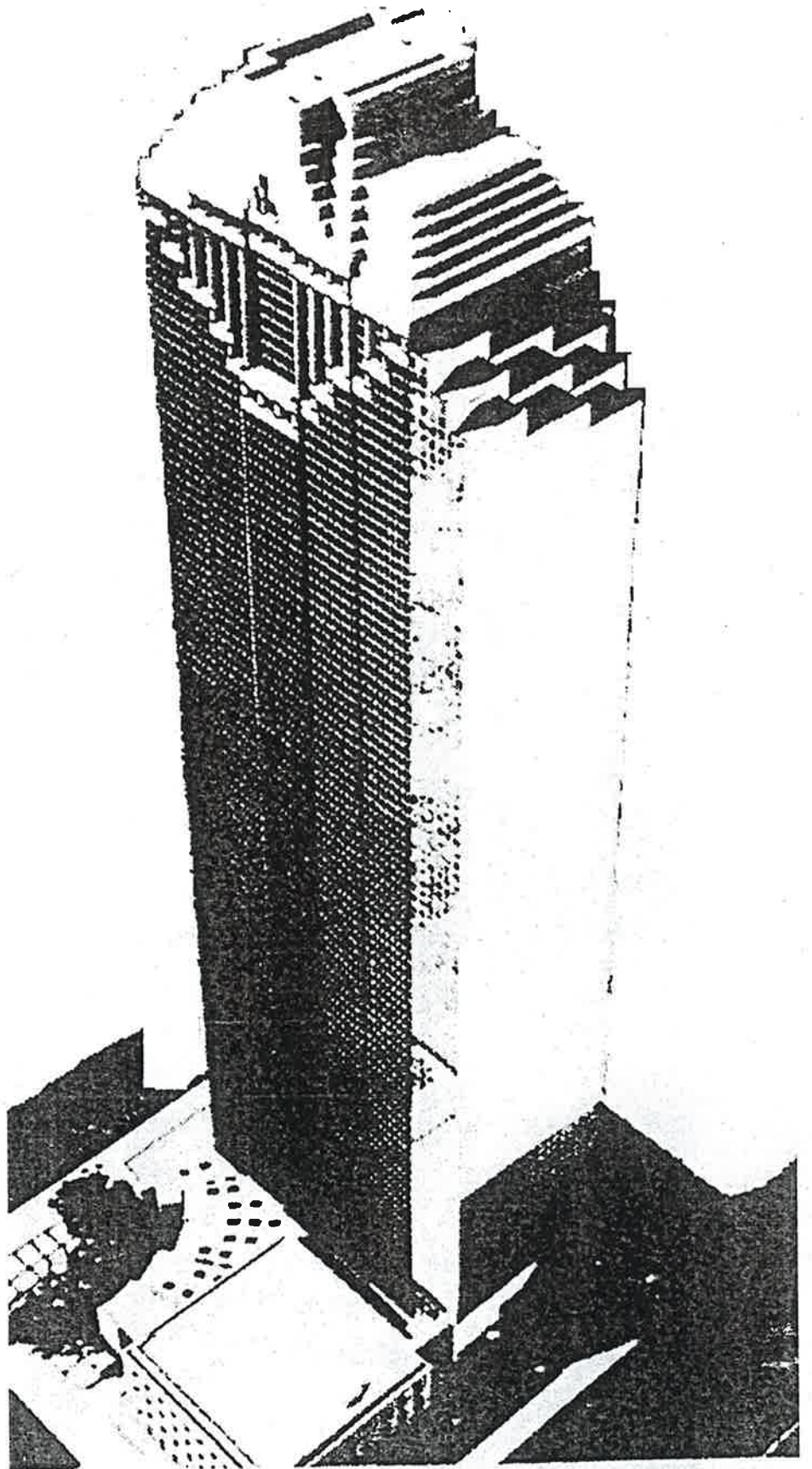
El aspecto más importante de la concepción de esta estructura es la seguridad, la resistencia del frontón es muy superior a la normal para este tipo de cubrimientos debido a su situación (en la parte superior de una edificación de más de 250 metros de altura) y por otra parte, debido a la existencia de ciclones que se suceden repetidamente en el Golfo de Florida.





DETALLE del FRONTON del Edificio del Banco de América (Houston)  
(MATERIALES COMPUESTOS AVANZADOS)

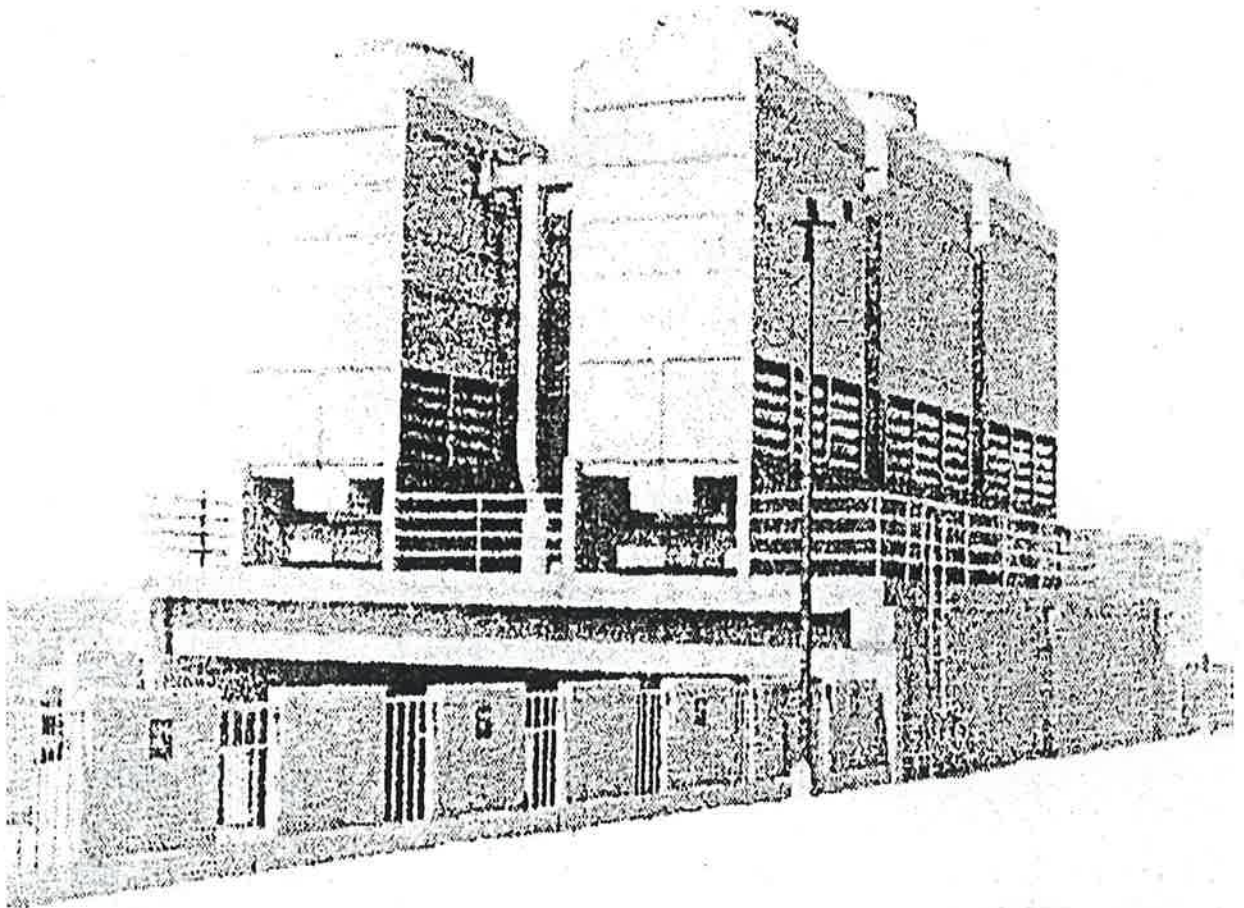
La configuración formada por estructura metálica y paneles de materiales compuestos (resina de poliéster-fibra de vidrio), ha sido particularmente estudiada para lograr una resistencia de  $400 \text{ Kg/cm}^2$ , aproximadamente el triple que una construcción standard.



FRONTON de cubrición del Edificio del Banco de América en HOUSTON (Texas) a base de PANELES de poliéster reforzado con fibra (MATERIALES COMPUESTOS)

## **Aplicación de los paneles resistentes, a las torres de enfriamiento.**

Las torres de enfriamiento deben resistir cargas horizontales y subpresiones debidas al viento, así como posibles temblores de tierra y la carga procedente del relleno de la torre bajo condiciones inducidas de corrosión a temperaturas elevadas.



**PANELES RESISTENTES y elementos ESTRUCTURALES (vigas y pilares)  
elaborados a base de Matrices orgánicas reforzadas con fibra de vidrio  
(MATERIALES COMPUESTOS AVANZADOS)**

El sistema consiste en paredes estructurales para recubrir y soportar el ventilador y vigas para sujetar el relleno cerámico. El sistema de muros tiene columnas internas que transfieren la carga total al cimiento de hormigón.

Las vigas de la torre de enfriamiento ponen de manifiesto la integridad y durabilidad a largo plazo, de los componentes estructurales de los materiales compuestos avanzados bajo una carga sostenida. Las vigas, después de años de uso, no muestran ninguna señal visible de deterioro.

Las torres de enfriamiento construidas con materiales compuestos avanzados ofrecen unidades modulares ligeras de fácil transporte y ensamblaje. No necesitan mantenimiento, son resistentes a la corrosión y pueden ser resistentes al fuego, en función de los aditivos incorporados como retardadores o retardantes del fuego.

Las torres pueden ser fabricadas mediante procesos de contacto y/o de pultrusión.

Veamos el siguiente ejercicio:

### **Requerimientos:**

Escaso peso para reducir la carga muerta en la super-estructura del edificio.

- Resistencia a los rayos ultravioletas (UV).
- Buenas características frente al desgaste y la degradación.

Construcción en unidades modulares para un levantamiento rápido y fácil.

Posibilidad de soportar 30.000 Kg de carga como peso propio de tejas (más una capa intermitente de hielo).

- Resistencia a cargas de viento de hasta 130 Km por hora.
- Resistencia a terremotos (acciones sísmicas).

Resistencia a elementos corrosivos en los enfriadores de agua caliente (sobre 40 °C).

- Buen comportamiento al fuego.

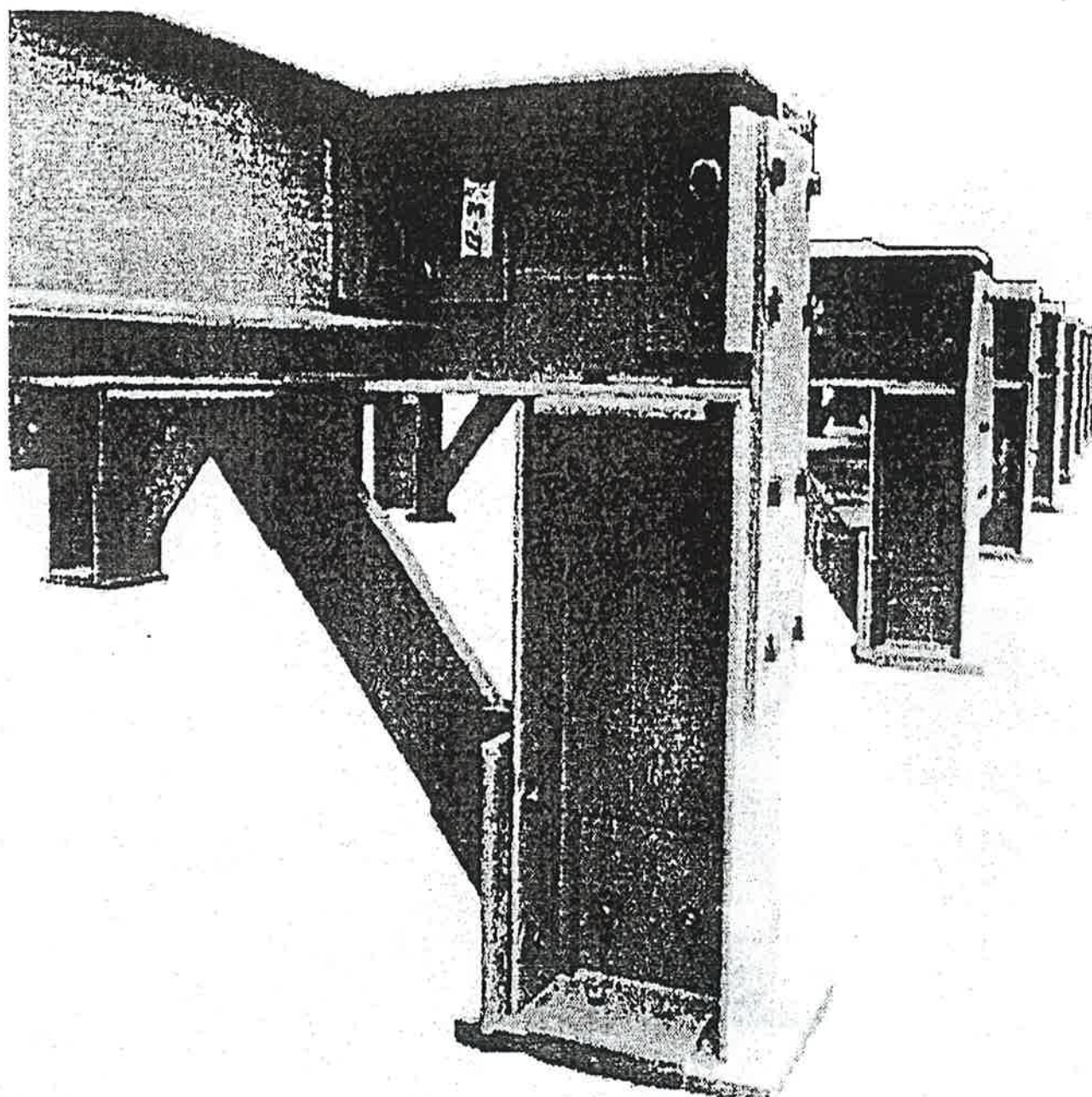
### **Solución:**

Los paneles de muro reforzados son pieles en tensión con un refuerzo de tejido. Las columnas están íntegramente moldeadas con UDR como estructura primaria.

Las vigas de sección tubular proporcionan resistencia a la flexión lateral. Hay un gran número de láminas unidireccionales en las alas para resistir cargas de flexión.

Todas las superficies tienen un recubrimiento de "gel-coat" y una superficie de "mat" rico en resina para resistir las penetraciones de agua y de los rayos UV.

La resina de poliéster con cargas de bromo se utiliza para la retardación de la llama.



DETALLE de una UNIÓN MÚLTIPLE en un sistema estructural de PERFILES fabricados mediante PULTRUSIÓN y atornillados

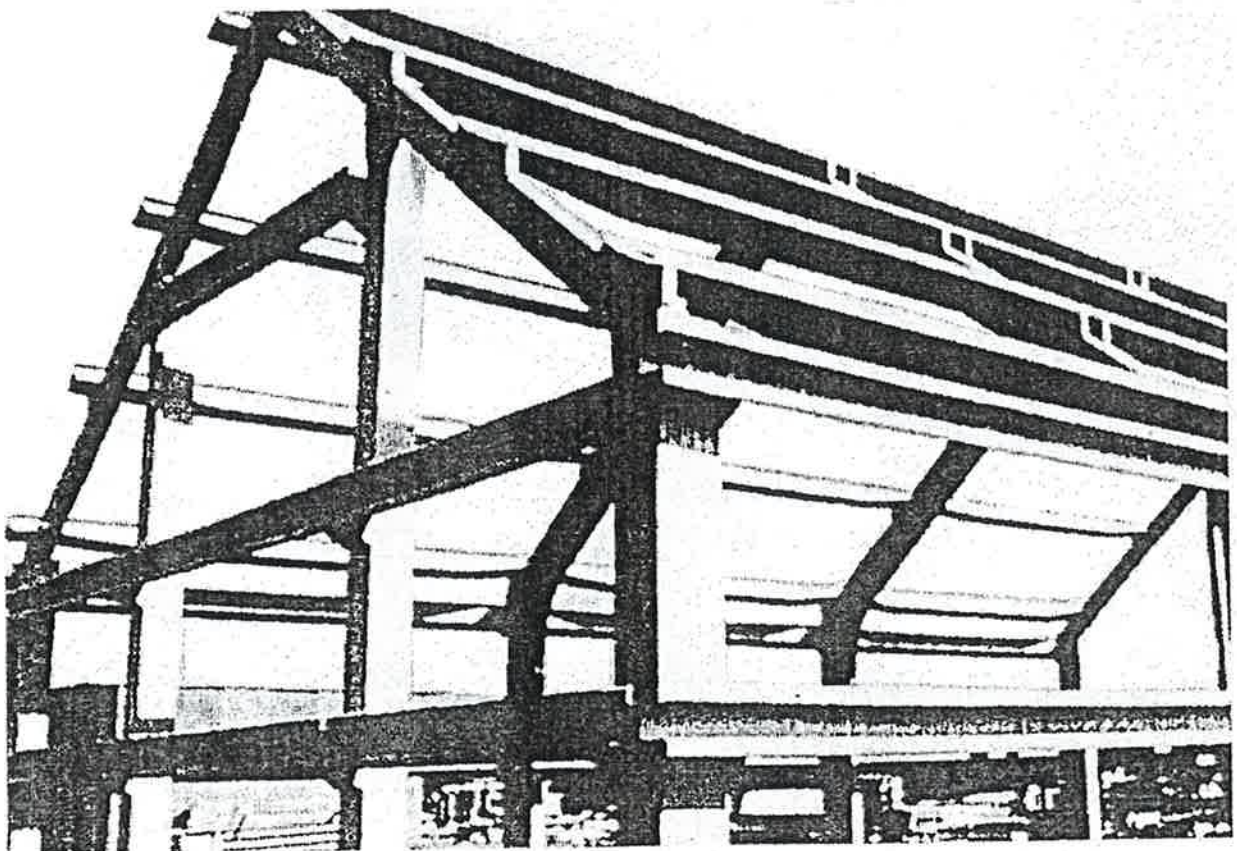
La “PULTRUSIÓN” (como ya hemos visto anteriormente), es un sistema de fabricación o elaboración de un material compuesto de base polimérica, muy característico de ciertas empresas especializadas.

**SISTEMAS ESTRUCTURALES fabricados mediante "PULTRUSIÓN": una POSIBLE SOLUCIÓN para sustituir al hormigón armado o incluso a la estructura metálica.**

Los perfiles de pultrusión presentan una resistencia cuatro veces superior a la del acero con un peso cuatro veces menor. Entre otras ventajas, hay que remarcar su excelente comportamiento ante la humedad, la corrosión y ante los parámetros ambientales en cualquier clase de exposición, tanto de tipo general como específica (I, II, III, Q....etc.)

La aplicación de estos sistemas, es muy apropiada en edificios industriales donde puede existir un alto grado de corrosión por ácidos y vapores corrosivos. En estos casos se han utilizado vigas estructurales de fibra de vidrio (E) y resinas poliméricas. En una planta de obtención de aluminio en los Estados Unidos donde los vapores corrosivos alcalinos del hidróxido de sodio (sosa cáustica), y de otros compuestos ácidos generaban serios problemas de corrosión se introdujeron vigas de soporte de techo, a base de fibra de vidrio (E) y resina de poliéster.

En edificios de comunicaciones donde no se pueden utilizar materiales metálicos, se pueden utilizar también vigas estructurales de vidrio de clase (E) y resina de poliéster. En la figura adjunta, se representa el Edificio de comunicaciones de la empresa de Informática "Apple" en Estados Unidos.



**SISTEMA ESTRUCTURAL fabricado mediante PULTRUSIÓN del edificio de TELECOMUNICACIONES de APPLE en Estados Unidos**

Los edificios industriales que se utilizan para ensayos de ordenadores y componentes electrónicos, deben ser construidos con materiales no metálicos para evitar interferencias electromagnéticas en dichos componentes de tan elevada sensibilidad. Los elementos estructurales deben diseñarse como estructuras laminares sometidas a tensión, usando configuraciones tipo cajón con la máxima capacidad para trabajar a torsión.

Los edificios prefabricados se construyen a base de unos marcos rígidos realizados por contacto (no por pultrusión), y los elementos estructurales unidos con cierres mecánicos de materiales compuestos y atornillados.

Ejemplo a resolver:

Requerimientos:

- Cumplir las normas locales de construcción.
- Ser resistente al fuego.
- No ser reflectivos eléctricamente, ni conductores.

Cumplir los requerimientos propios de los edificios prefabricados metálicos en cuanto a su capacidad estructural.

Solución:

- Resinas. Viniléster retardantes al fuego a largo plazo.
- Marco rígido fijo en los cimientos.

Marco rígido fabricado por contacto de sección cerrada con alta concentración de UDR en la parte superior e inferior.

Finalmente, también en casas prefabricadas, o de montaje y desmontaje rápido, así como en edificios costeros donde la agresión marina origina serios deterioros en estructuras metálicas, se utilizan perfiles de vidrio de clase (E) y resinas poliméricas.

Las vigas realizadas en materiales compuestos se usan para apoyar paneles y cubiertas en edificaciones industriales expuestas a agentes ambientales de naturaleza química. Están llamados para reemplazar a los modelos convencionales de acero. Para superar su bajo módulo elástico, las vigas de materiales compuestos son más altas que sus equivalentes de acero, pero con extremos de altura linealmente decreciente para mantener el perfil típico de un edificio.

La sección de la caja es lateralmente estable para superar las limitaciones de estabilidad lateral de las secciones estructurales. Se emplean tejidos de vidrio continuo como elemento principal de soporte de carga del mismo modo que se usan barras de acero para vigas de cemento reforzado. Los resultados son vigas de materiales compuestos con la misma capacidad de soporte de carga que las secciones de acero que son dos veces más pesadas.

Estas vigas son esencialmente elementos de flexión comparables a barras articuladas pero sin el problema de pandeo lateral y con requerimientos estructurales.

Las vigas se pueden fabricar por contacto o por pultrusión.  
Sea el siguiente ejemplo:

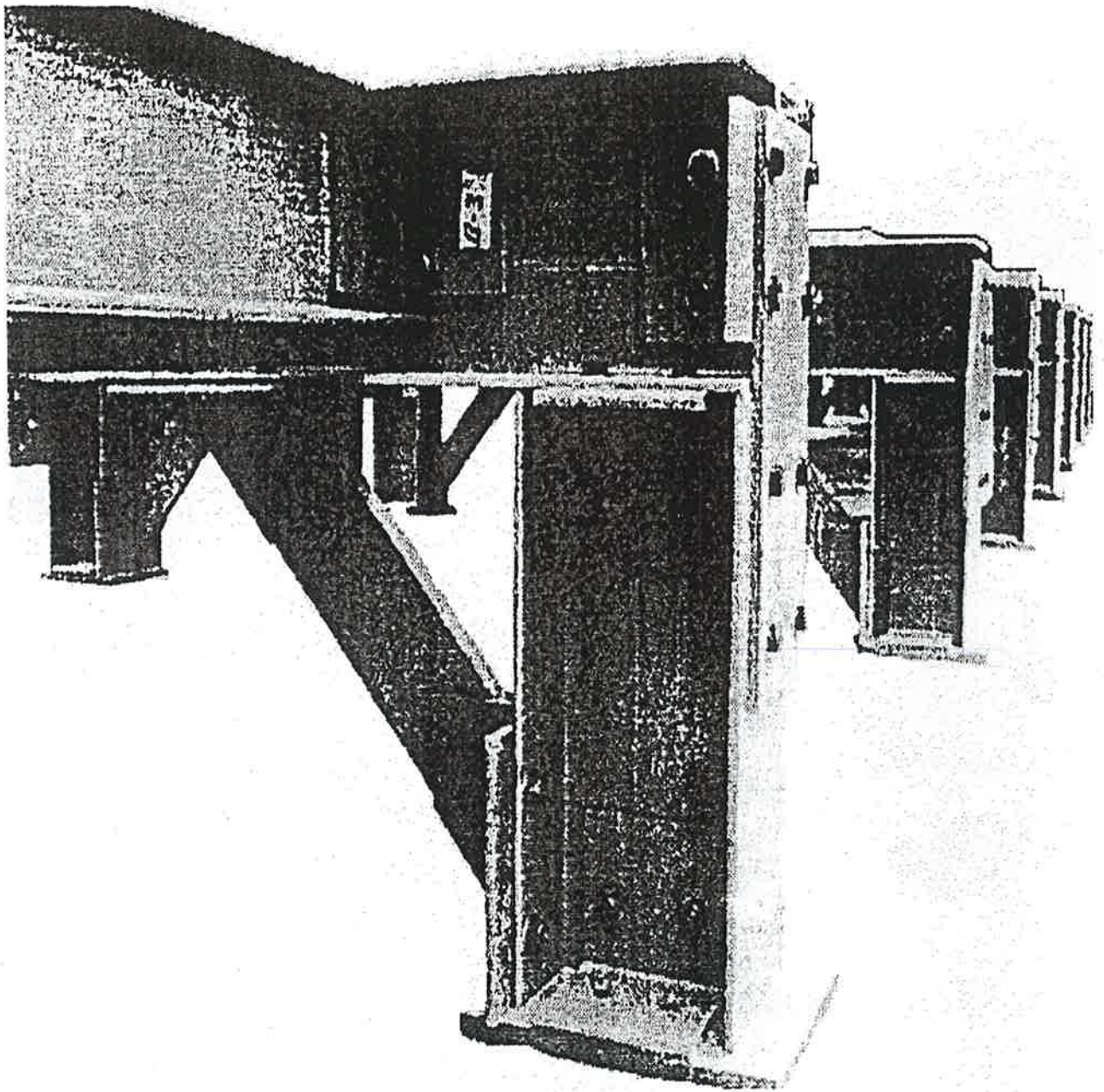
Requerimientos:

- Capacidad para ser competitivas con la construcción metálica.  
Capacidad para mantener el perfil de construcción de un espacio existente utilizable.
- Resistencia a atmósfera de cloro cáustico.
- Retardancia al fuego.
- Envergadura de 600 a 750 mm con L /D de 360 a 240.

Solución:

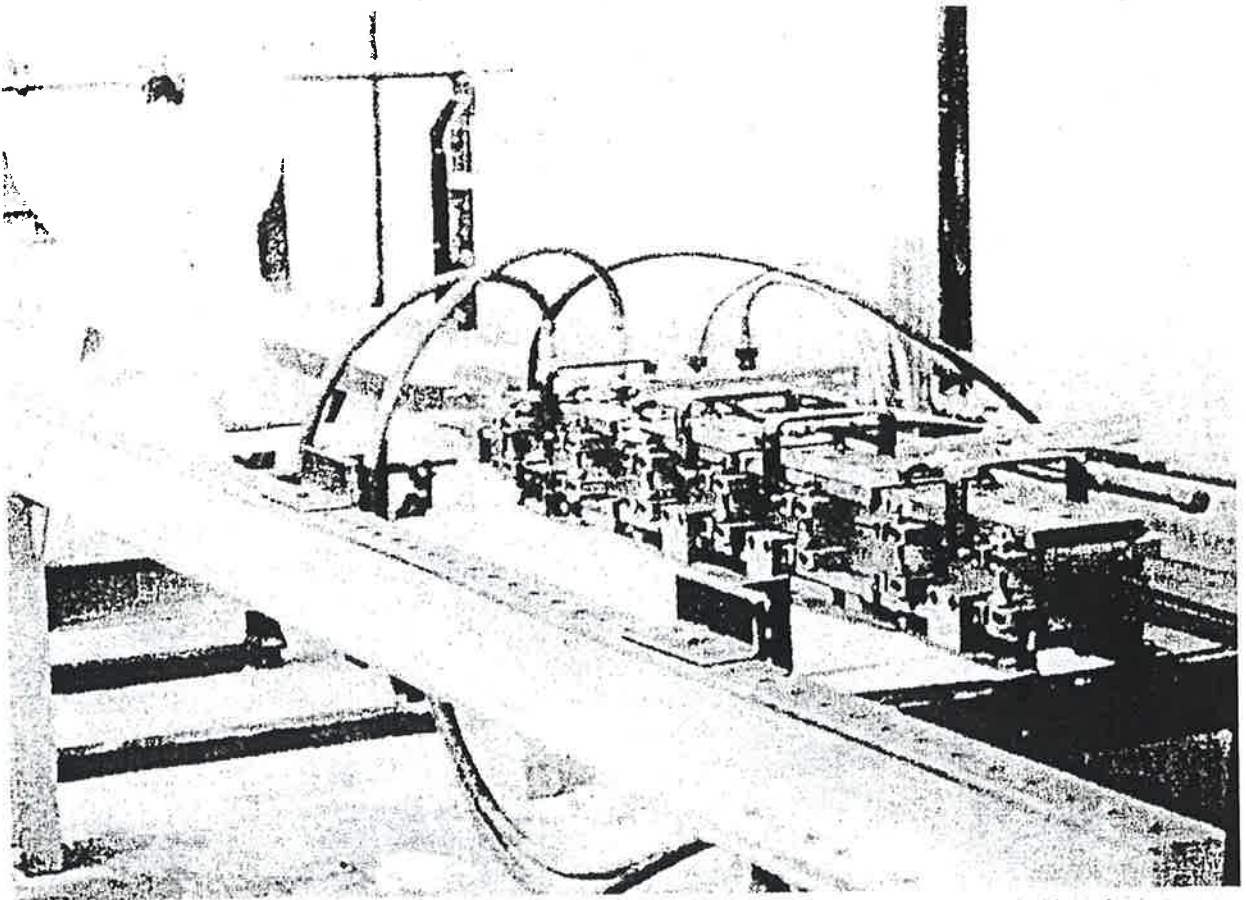
- Fabricación mediante proceso de Contacto, o Pultrusión  
Sección transversal con elevado módulos resistentes e inercia específicos.
- Espesor variable en los apoyos.
- Alta concentración de UDR en las partes superior e inferior.





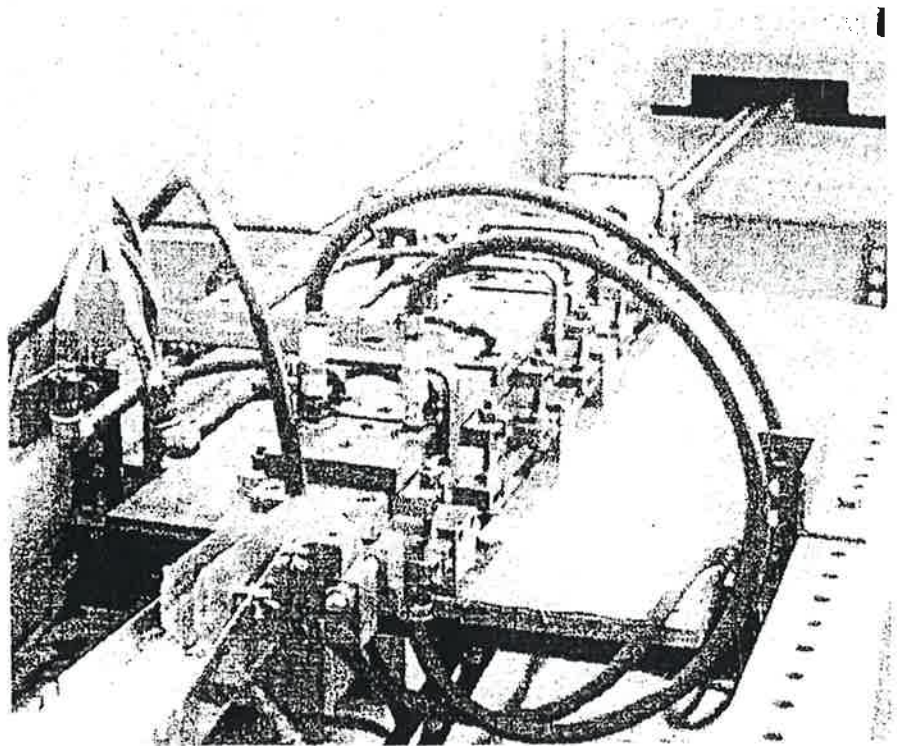
**DETALLE de una UNIÓN MÚLTIPLE en un sistema estructural de PERFILES fabricados mediante PULTRUSIÓN y atornillados**

La “PULTRUSIÓN” (como ya hemos visto anteriormente), es un sistema de fabricación o elaboración de un material compuesto de base polimérica, muy característico de ciertas empresas especializadas, que consiste en reunir la matriz y la carga o refuerzo, mediante fuertes compresiones a través de inyecciones hidráulicas contra matrices, según se aprecia en las ilustraciones adjuntas.



PROCESO de "PULTRUSIÓN" que se sigue por empresas especializadas para la FABRICACIÓN de "tendones" pretensados.

La pultrusión y el termo-conformado, son los procedimientos más utilizados en la elaboración de algunos tipos de paneles. Empresas tales como Bekaert Composites (Oudenaarde, Bélgica), Creative Pultrusions (Alum Park, PA) y Owens Corning Fiberglass están dedicadas a la fabricación de sus productos por "pultrusión"



OBTENCIÓN de un perfil de FIBRA de VIDRIO para Estructura Resistente mediante el proceso de "PULTRUSIÓN"

## Cubiertas colgadas (Informes de la Construcción N° 456-457 vol.50)

Desde que en los años 50 las cubiertas colgadas empezaron a emplearse para la construcción de grandes espacios, esta tipología ha avanzado en varios frentes, los cuales se pueden agrupar en **dos** grandes grupos:

En el **primero** encontramos los espacios configurados por contornos permanentes y continuos.

Entre los **segundos**, todos aquéllos que podrían encajarse dentro de las superficies colgadas desde puntos, ya sea con ayuda de mástiles o de tirantes. También se marcan las diferencias entre los materiales utilizados para la cobertura y en su función, pues varían, desde los que representan únicamente el cierre y la impermeabilización del recinto, a aquellos otros que además, cumplen un papel resistente fundamental.

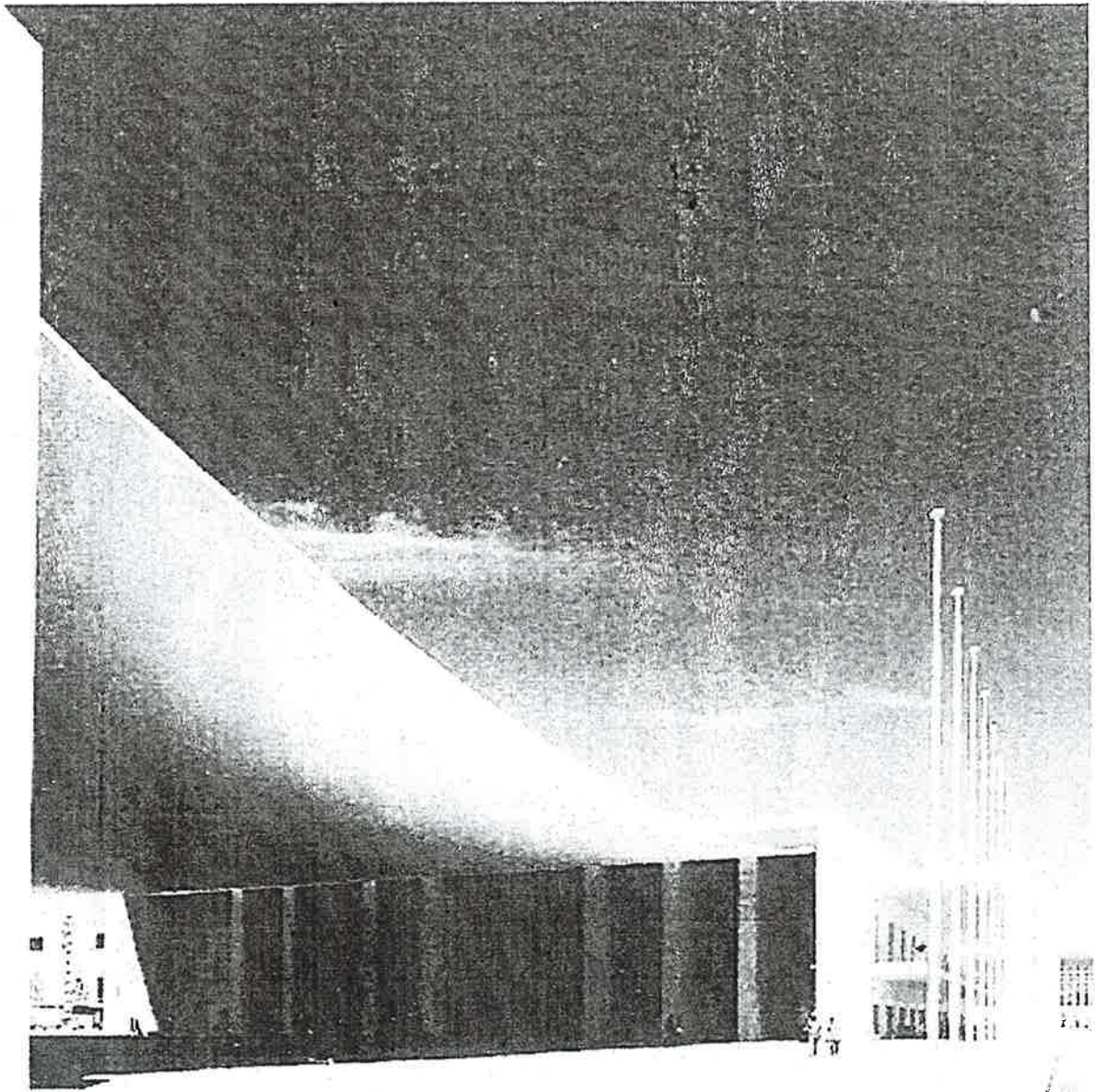
### Apoyos continuos

Después de la utilización masiva de las grandes cubiertas colgantes de los años 60 para cubrir hangares, palacios de deportes y espacios de usos diversos, realizados principalmente por ingenieros, la simplicidad formal que obliga la adecuada utilización de la morfología colgada de simple o doble curvatura, había hecho que su atractivo para configurar espacios en el mundo de la arquitectura hubiera dejado de estar presente.

El palacio de deportes de la Coruña, el Picadero del Club de Campo de Madrid o la cubierta para el pabellón de la Feria de Muestras de Barcelona, son algunos de los muchos restos de la formalización rigurosa y estricta realizados en España.

Recientemente esta morfología elemental, con carácter casi exclusivamente arquitectónico, entendiendo por tal a aquél que tiende a revivir formas clásicas con un nuevo espíritu formal, se ha producido en bastantes ocasiones.

El primer ejemplo lo constituye la cubierta del Pabellón portugués de Alvaro Siza en la Feria Universal de Lisboa de 1998 como puede apreciarse en la ilustración adjunta.

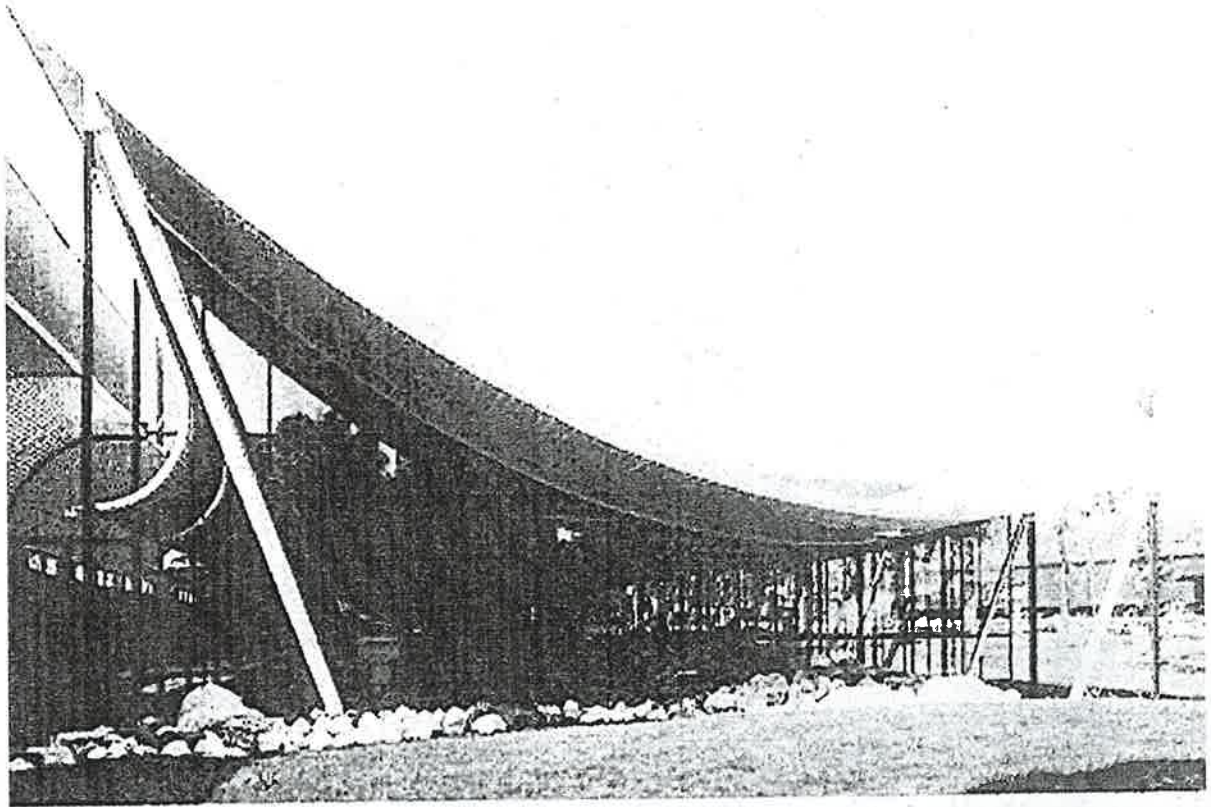


## PABELLÓN de PORTUGAL (Expo 98) Lisboa (Alvaro Siza)

Esta obra no supone ningún alarde técnico ni ningún hallazgo resistente, es la cubierta de siempre, realizada con la maestría de Siza, tan formidablemente, que nos vuelve a hacer entender qué es lo que está colgado.

Menos interés resistente y formal tiene la cubierta que Renzo Piano hace para un edificio de oficinas en Vicenza 1984

Utiliza la cubierta colgada, de dimensiones muy pequeñas, 14,5 m., de luz, como elemento formal, justificado exclusivamente desde un punto de vista ambiental y espacial.

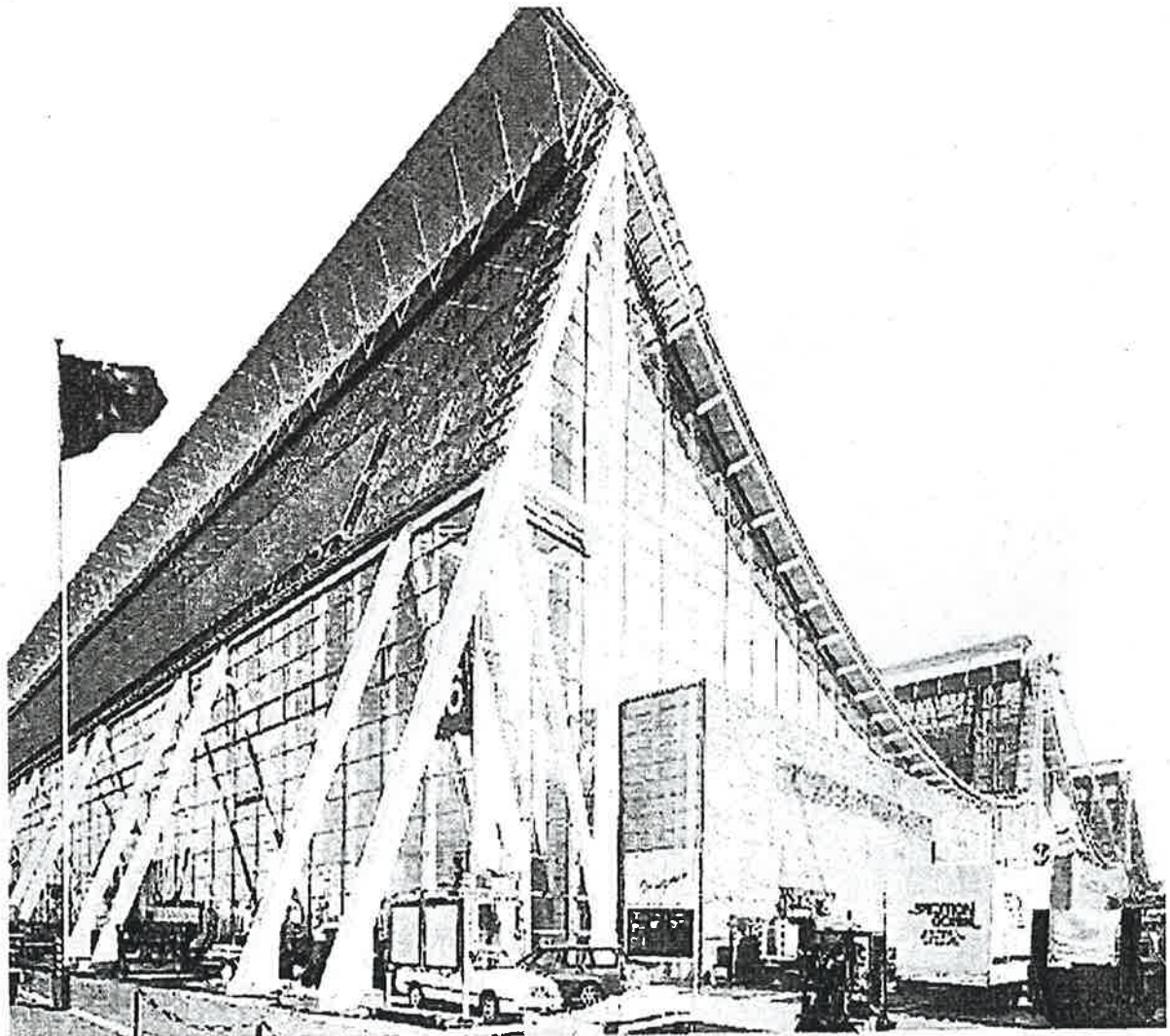


### EDIFICIO de Oficinas en Lowara (Vicenza) Italia (Renzo Piano)

Nada que ver con lo resistente, aunque esta cubierta deba resistir apoyada en sus puntales atirantados inclinados.

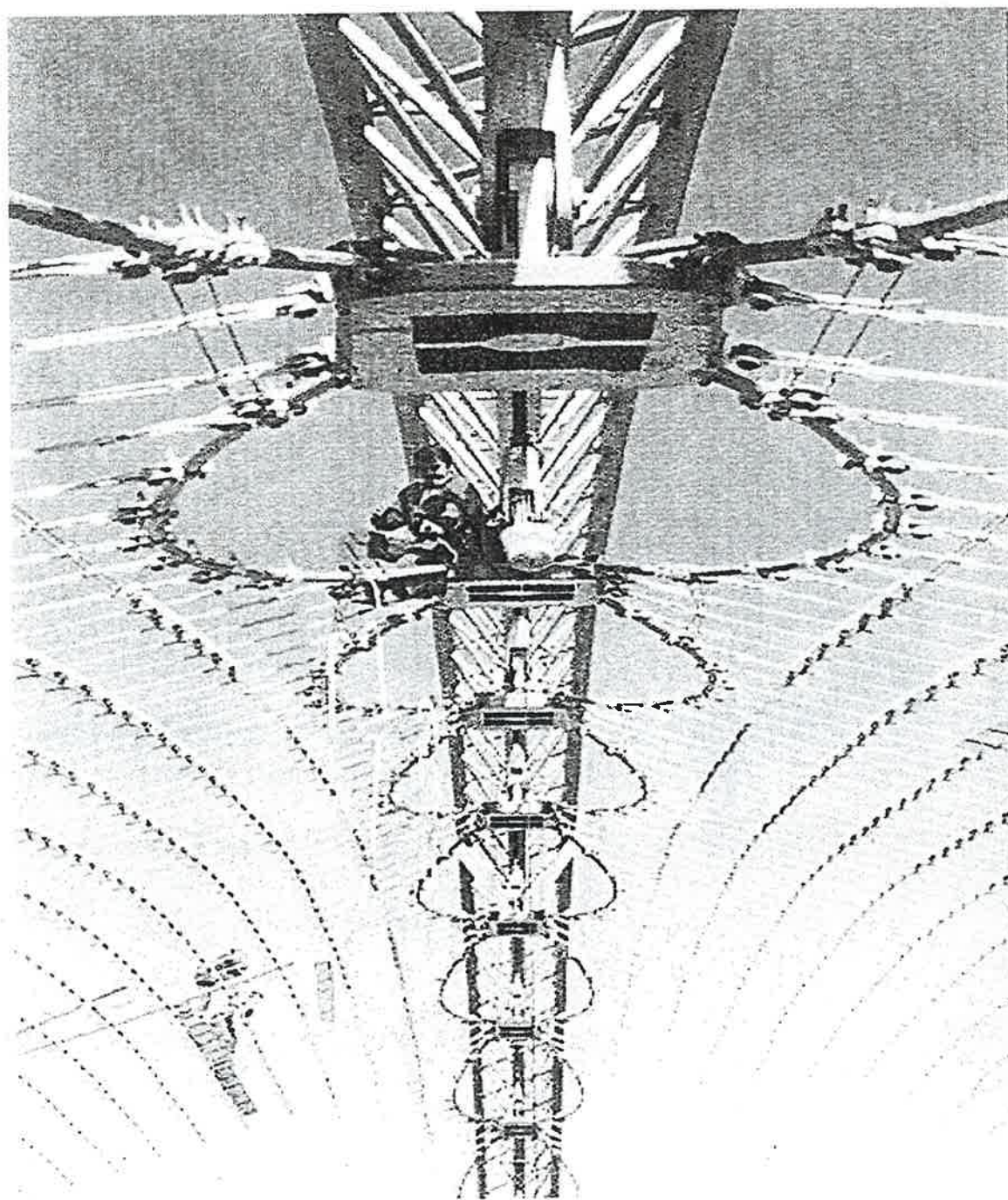
Más interés tiene el trabajo realizado en el Pabellón 26 de la Feria de Hannover de T. Herzog y Frank Simon de la oficina de Schlaich. Se trata de tres cubiertas colgadas enlazadas de 70 m de luz y soportadas por pilares en forma de A

La cubierta está formada por tiras metálicas de 30 mm de espesor y 400 mm de anchura, separadas entre sí 5,5 m. Entre estas tiras se dispone una cubierta de madera. Se estabiliza por su propio peso ayudada por unos tirantes extremos.



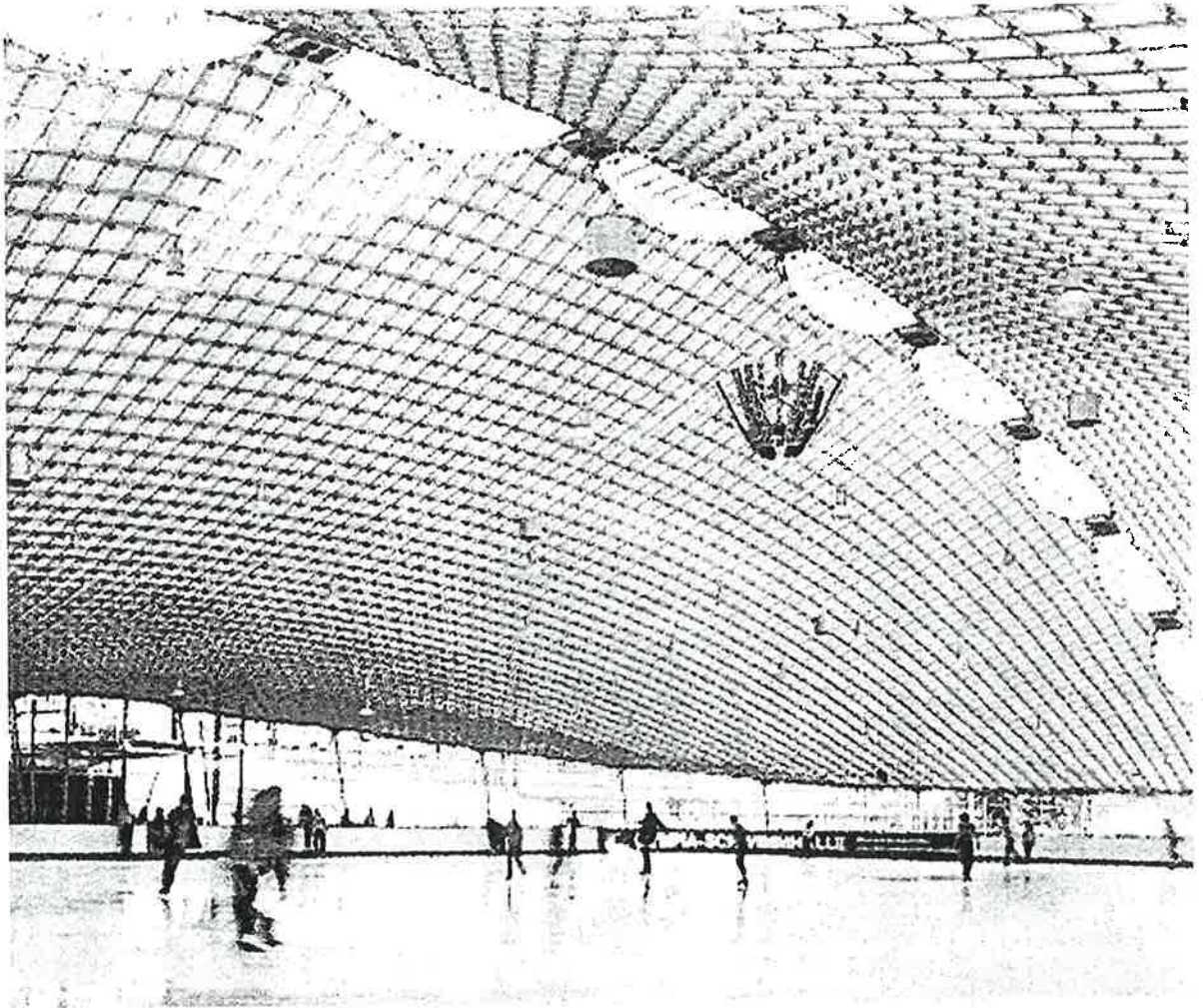
**PABELLON 26 Centro de Exposiciones (Hannover)**  
**(T. Herzog y Frank Simon)**

La utilización de un arco centrado como soporte de una cubierta colgada, la realiza Saarinen con F. Severud en la pista de hielo de Vale, de 70 m de luz, en 1956-58. Antes ya la había propuesto Frei Otto para un teatro al aire libre en Stuttgart, en 1954. Schlaich, junto con el arquitecto Ackermann, diseñan y construyen, en 1985, el palacio de deportes de hielo en Munich siguiendo la misma idea.



**PALACIO de Hielo en Munich  
(Ackermann y Schlaich)**

El arco es metálico, de 1,45 m de canto, 104 m de luz y 17,6 m de flecha y la cubierta está formada por una red ortogonal de cables portantes y tensores, cubriendo una superficie elíptica de 88 x 67 m.



**PALACIO de Hielo en Munich (vista general Cubierta)**

La rigidez transversal de este arco es pequeña, por lo que cuando existen cargas de viento o nieve disimétricas, es la propia red la que lo estabiliza tensándose la parte no cargada para enfrentar el mayor empuje lateral de la zona cargada.

La cobertura está formada por una red cuadrada de listones de madera y una membrana transparente de PVC.



## Cubiertas rígidas colgadas o atirantadas

La utilización de un sistema de tirantes o cables curvos, como apoyos intermedios, de una cubierta rígida se ha prodigado mucho recientemente.

Esta solución es utilizada por la ingeniería, en lo que hemos denominado época clásica, en la cobertura de grandes espacios sin soportes. Morandi, en 1961, soporta voladizos de 60 m., de luz de hormigón por un sistema de dos tirantes para los hangares del aeropuerto da Vinci en Roma. Con un solo tirante, en el hangar de Frankfurt, en los años 1959-1960, se realizan voladizos de 66 m de luz.

Esta tipología es recogida por Richard Rogers para salvar luces muy reducidas. En el centro de Qumper, 1979, se utiliza innecesariamente para salvar una cuadrícula de 18 x 18 m.

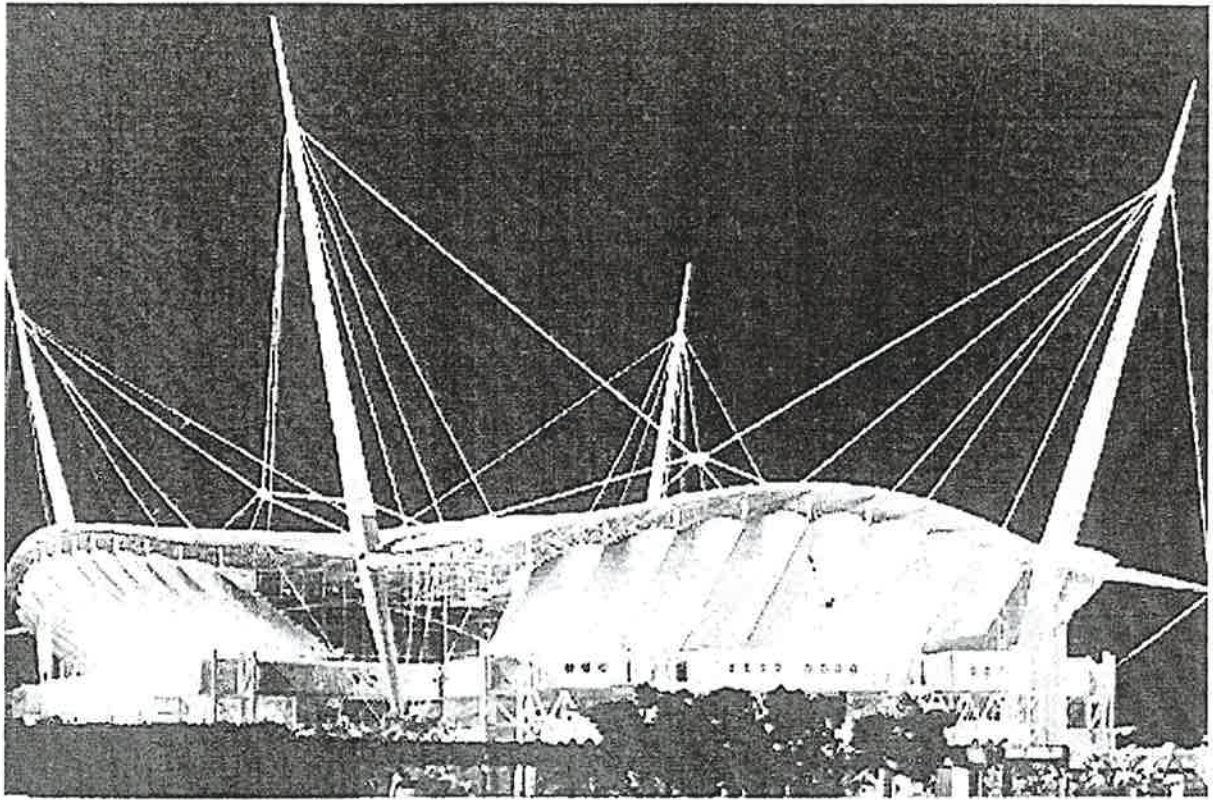
Norman Foster, en 1980, resuelve por este procedimiento el Centro de distribución de Renault en Swindon, con luces de 24 x 24 m., en una exhibición de lo que puede llegar a complicarse, innecesariamente, una estructura.

Richard Rogers, en Inmos Microprocessor Factory, (en el sur de Gales), plantea otra solución, también excesiva para saltar 36 m de luz, idea que repite de la mano de Peter Rice en Patscenter Laboratories de Princeton, EEUU, ahora reduciendo su luz a 22,8 m.

Estas soluciones exceden de las necesidades estructurales, de manera que hace aparecer como necesario lo innecesario, defecto en el que cayeron, tantas veces, los arquitectos "high tech" en sus inicios.

Más sentido tiene la utilización de esta misma tipología de cubierta metálica atirantada cuando es necesario salvar luces importantes, como puede ser la de Darling Harbour Development Exhibition Center, en Sydney (1987), de Cox, Richardson, Taylor, y otros, que cubren cuadrículas de cubierta de 87x60 m.

Para el estadio de Saitama, en Japón, se propone la utilización de cuatro torres de 90 m., desde las que se atiranta una cubierta metálica formada por cuatro grandes vigas de 3 m., de canto, las cuales soportan una estructura metálica secundaria según se aprecia en la ilustración adjunta.

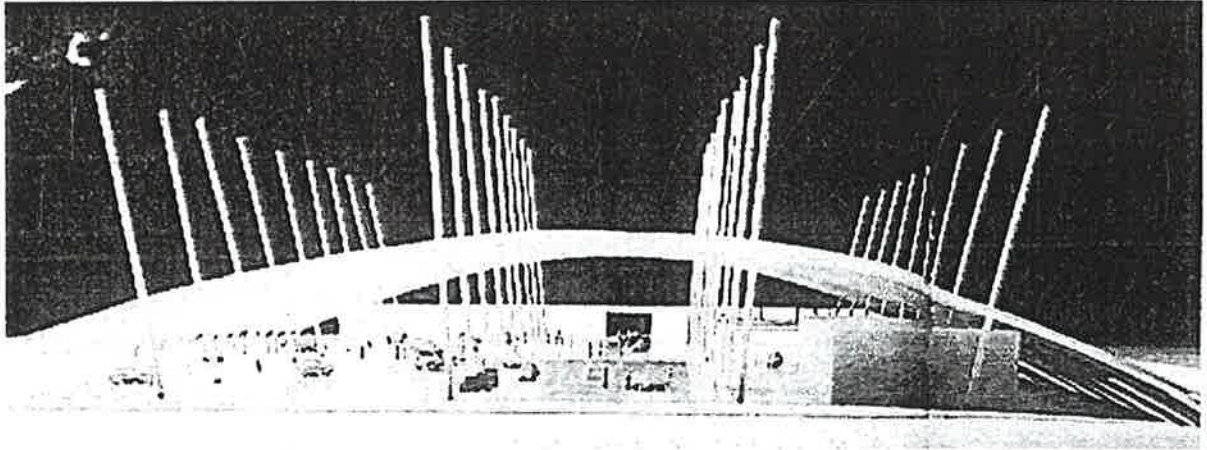


## PROPUESTA de ESTADIO en Saitama (Japón)

Richard Rogers utiliza el atirantamiento para colgar una cubierta cilíndrica o esférica. En Massy Autosalon, proyecto 1987, propone una cubierta cilíndrica de unos 100 m de distancia entre apoyos extremos con cuatro mástiles intermedios.

De cada puntal salen dos parejas de tirantes que cuelgan y atirantan una estructura metálica rígida circular. En esta disposición existe una cierta incongruencia estructural, pues cuelga una forma (el círculo), que siempre ha resistido por sí sola, que ha sido inventada para resistir por sí sola y que debe seguir resistiendo por sí sola.

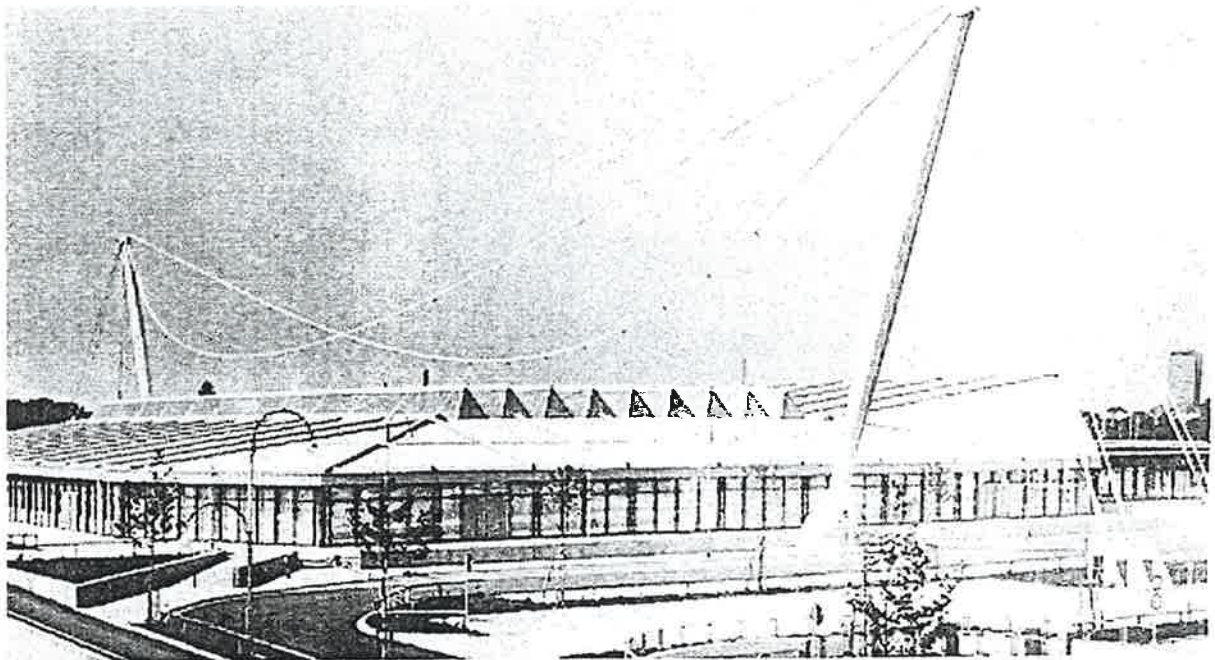
Rogers cambia su forma de trabajo. El atirantamiento que se produce desde los mástiles equivale a dos efectos, uno de descarga del trabajo como bóveda y otro, una rigidización de la cubierta ante las cargas no funiculares. Ninguna de las dos cosas es necesaria para un arco de dimensiones no muy grandes, como puede apreciarse en la ilustración adjunta.



### **CUBIERTA Cilíndrica en MASSY Autosalon (Richard Rogers)**

En cuanto a la cubierta rígida colgada de cable curvo, el primero que la realiza, siempre magistralmente, es Nervi en Paper Mill (Burgo), con 147 m de luz.

El ingeniero Schlaich en Europahalle de Karlsruhe, (1980), realiza la cubierta de 72 m de luz en una hermosa versión moderna del planteamiento de Nervi (ilustración adjunta).

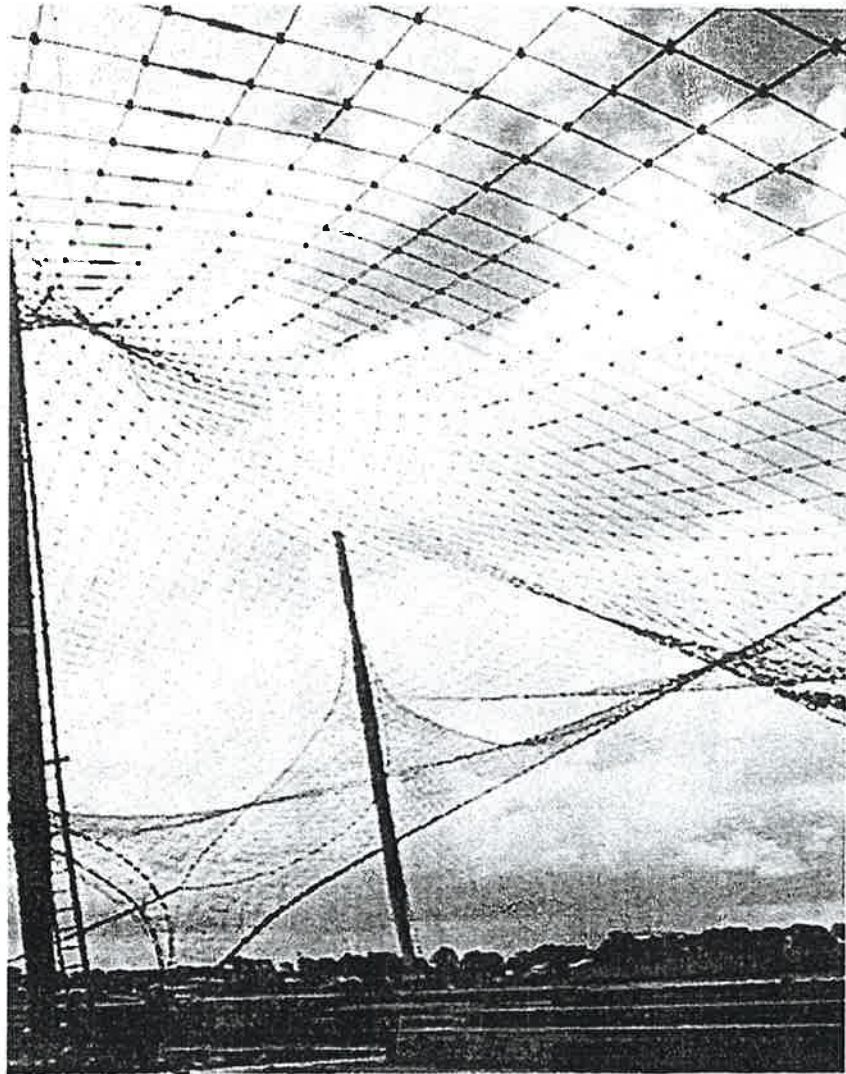


### **CUBIERTA rígida colgada de la Europahall en Karlsruhe (Schlaich ing.)**

Por este procedimiento se han llegado a plantear cubiertas de hasta 304 m de luz, por Fazlur Kahn en los años 60.

### **Cubiertas colgadas sobre apoyos puntuales**

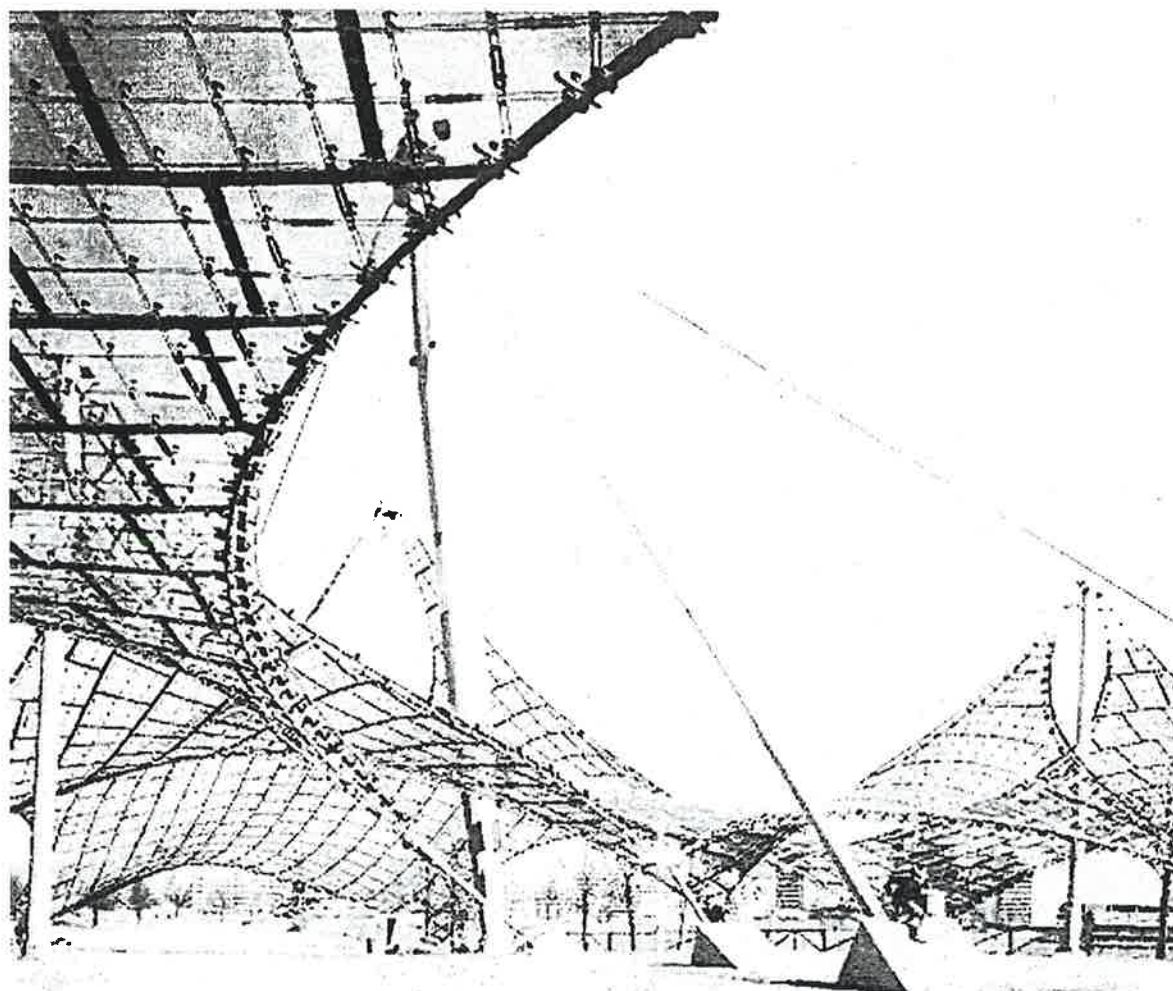
Mucho más versátil que las cubiertas colgadas de apoyo continuo, las cubiertas de apoyo puntual se han extendido con profusión desde la realización de los extraordinarios Pabellones de Alemania en Montreal (1967) y la Olimpiada de Munich (1972), según se puede observar en las ilustraciones adjuntas.



### **CUBIERTA COLGADA del Pabellón Alemán en Montreal (Frei Otto y Rolf Gutbrod)**

Malla de cables de acero de 12 mm., separados entre sí, 50 cm. Otto crea un bucle resistente que sale de la cabeza del puntal, y del que cuelga los elementos de la red que forma la CUBIERTA

De entre ellas hay que realizar también una distinción. Las primeras corresponden a aquéllas en las cuales existe una división entre lo que es el elemento portante y lo que es la cubierta.



### **CUBIERTA COLGADA del Estadio Olímpico Munich (G. Behnish, Frei Otto, y J. Schlaich)**

El elemento portante está formado por cables dispuestos normalmente en malla ortogonal tensada en ambas direcciones sobre la que se dispone una cubierta inerte. Es el caso del pabellón alemán de Montreal, las construcciones de la Olimpiada de Munich, la pista de hielo de la misma ciudad, etc.

El segundo tipo, que aquí nos ocupa, sería aquél en el cual la cubierta es, a su vez, el elemento resistente. Es el caso de los textiles. Para que estas membranas no se arruguen bajo cargas exteriores, como la nieve, y no se produzcan problemas de flameo por el viento, deben estar fuertemente tensadas, lo cual se consigue con la presencia de cargas puntuales ascendentes y descendentes que produzcan fuertes curvaturas de signos opuestos en la tela.

Cuanto más curvatura, menor es la tensión necesaria para evitar los problemas citados. Esta necesidad va a hacer que las telas estén siempre asociadas a las estructuras atirantadas, tanto desde la parte superior de los pilares, como desde el suelo y desde puntales flotantes intermedios soportados por tirantes. Veremos una serie de morfologías en las cuales combinan las torres principales, tirantes, puntales fijos o flotantes para soportar luces de distinta magnitud.

Se entiende que la deformabilidad y la tensión de la tela será tanto más importante cuanto mayor sea la luz a salvar. Las cubiertas pequeñas, que a nivel industrial, se utilizan para crear recintos provisionales, presentan un problema resistente mínimo. Por el contrario, la gran luz determina problemas resistentes complejísimo, agravados por el hecho de que necesariamente las "telas" son tejidos que tienen un comportamiento claramente "anisótropo".

El tejido utilizado debe ser impermeable, resistente al fuego, durable, transparente o traslúcido, etc., etc., según se desee. Se utilizan tejidos a base de fibra de vidrio o poliéster con PVC, teflón o silicona, con calidad mejor o peor en función de su condición de provisionalidad o de su definitiva permanencia.

A veces, para aumentar su resistencia en determinadas direcciones, se arma con cables de acero u otros.

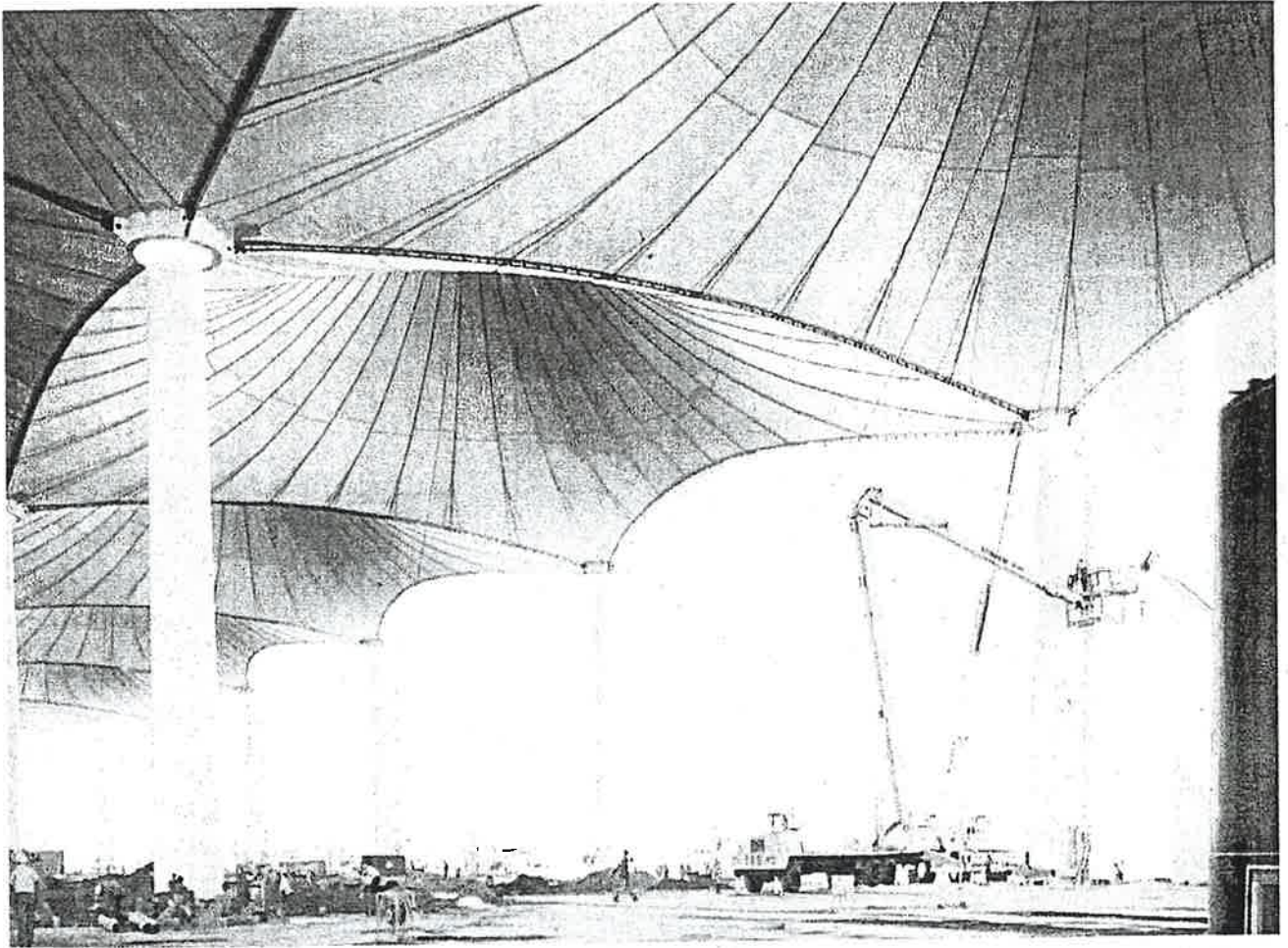
Además de estos cables, se disponen otros cables en aquellas zonas donde hay concentración de esfuerzos como son los bordes, los valles y crestas y en los puntos de cuelgue.

El concepto siempre es el mismo, los cables que soportan el textil, cuelgan de un punto y son tensados desde otro por medio de puntales, anclajes y otros cables.

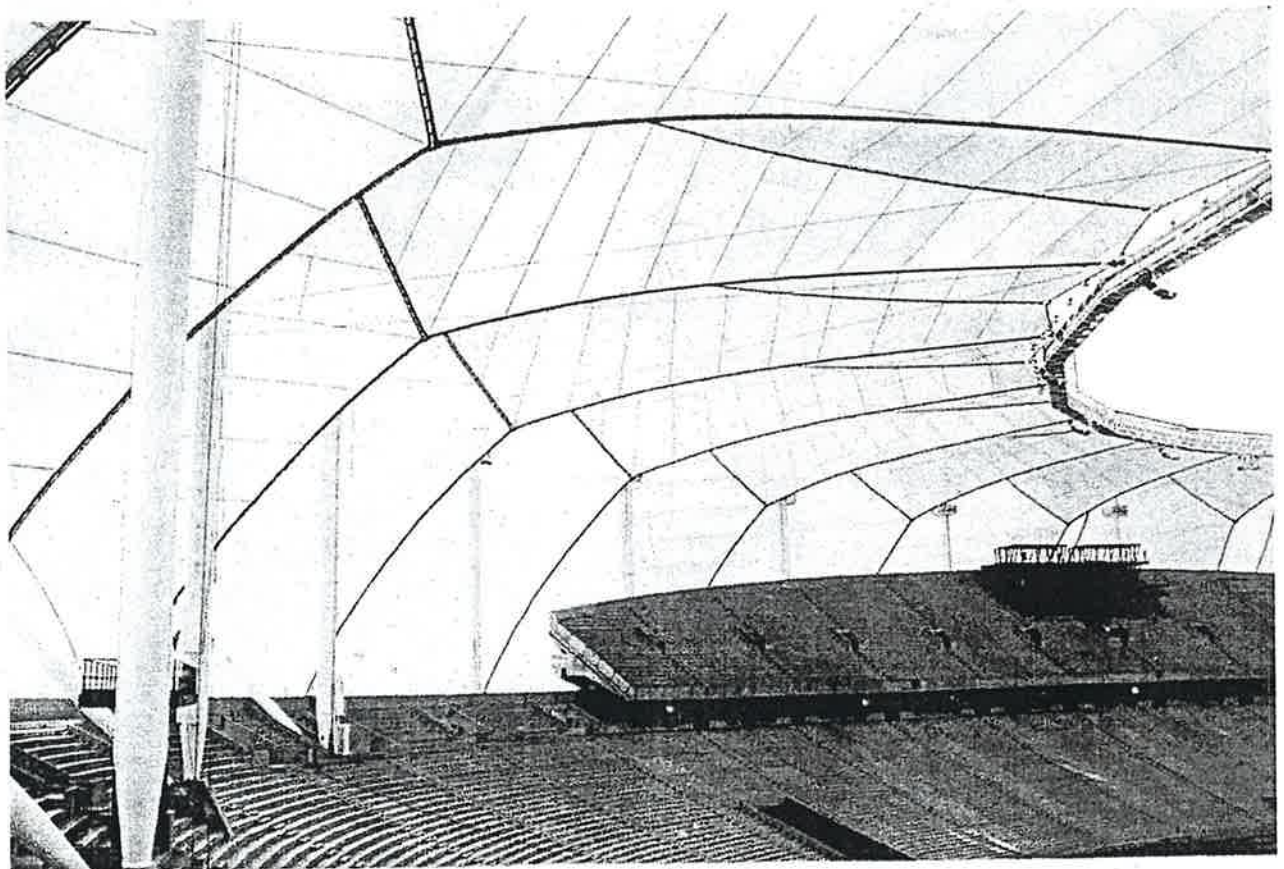
El textil es tensado por la familia de cables portantes y estabilizadores. Aunque las cubiertas de textiles están presentes desde principios de los años 60, la primera de las grandes estructuras que las utilizan como cobertura de grandes espacios es el Aeropuerto de Jeddah, en Arabia Saudita (1977), de los ingenieros Fazlur Khan y H. Berger.

Esta gigantesca construcción está formada por 210 unidades de 45 x 45 m., de lado. Cada uno de estos enormes rectángulos cuelga de un anillo central que, a su vez, cuelga de postes de acero situados en las esquinas, de 45 m., de altura.

La sustentación se realiza por cables de esquina y del cuerpo central y la estabilización por cables de borde, según se muestra en la ilustración adjunta. La cubierta está formada por tejido de fibra de vidrio y teflón.



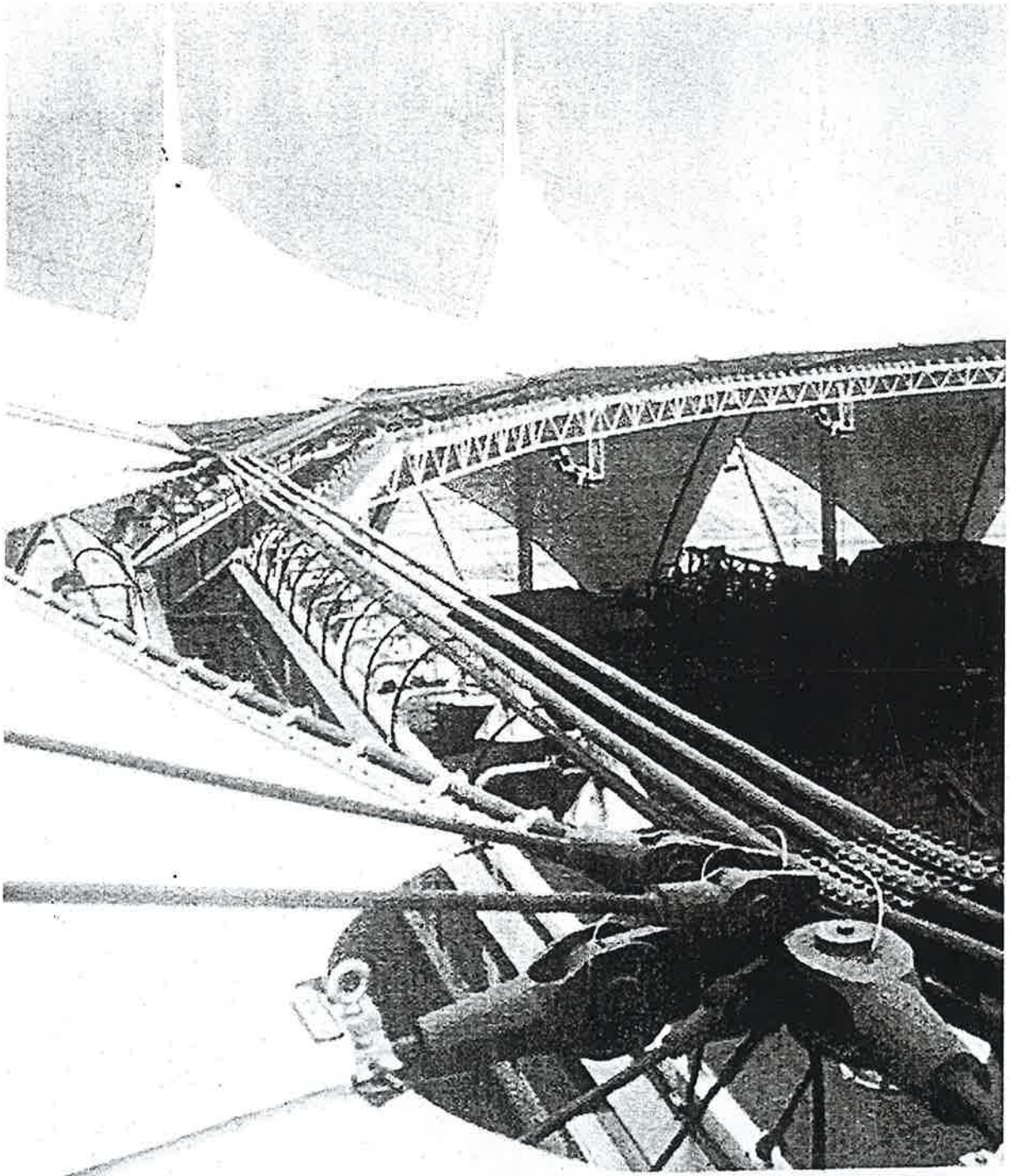
CUBIERTA COLGADA sobre apoyos puntuales del Aeropuerto Internacional de JEDDAH (Arabia Saudita)  
(Fazlur Khan y H. Berger)



VISTA interior de la CUBIERTA del Estadio Rey Fadh en Riyadh (Arabia Saudita)

Se pueden considerar además, tres tipos de construcciones importantes; la primera sería la cubierta del Estadio de Riyadh. Este estadio está cubierto por 24 unidades idénticas agrupadas en un círculo. Como en toda estructura en ménsula, la cabeza de tracción está constituida por los cables de suspensión, y la cabeza de compresión se sustituye por el anillo de tracción circular, en realización que ya es clásica en el trabajo de J. Schlaich.

Cada mástil tiene 58 m de altura distribuidos en un círculo de 246 m de diámetro y el voladizo de la cubierta es de 54 m.

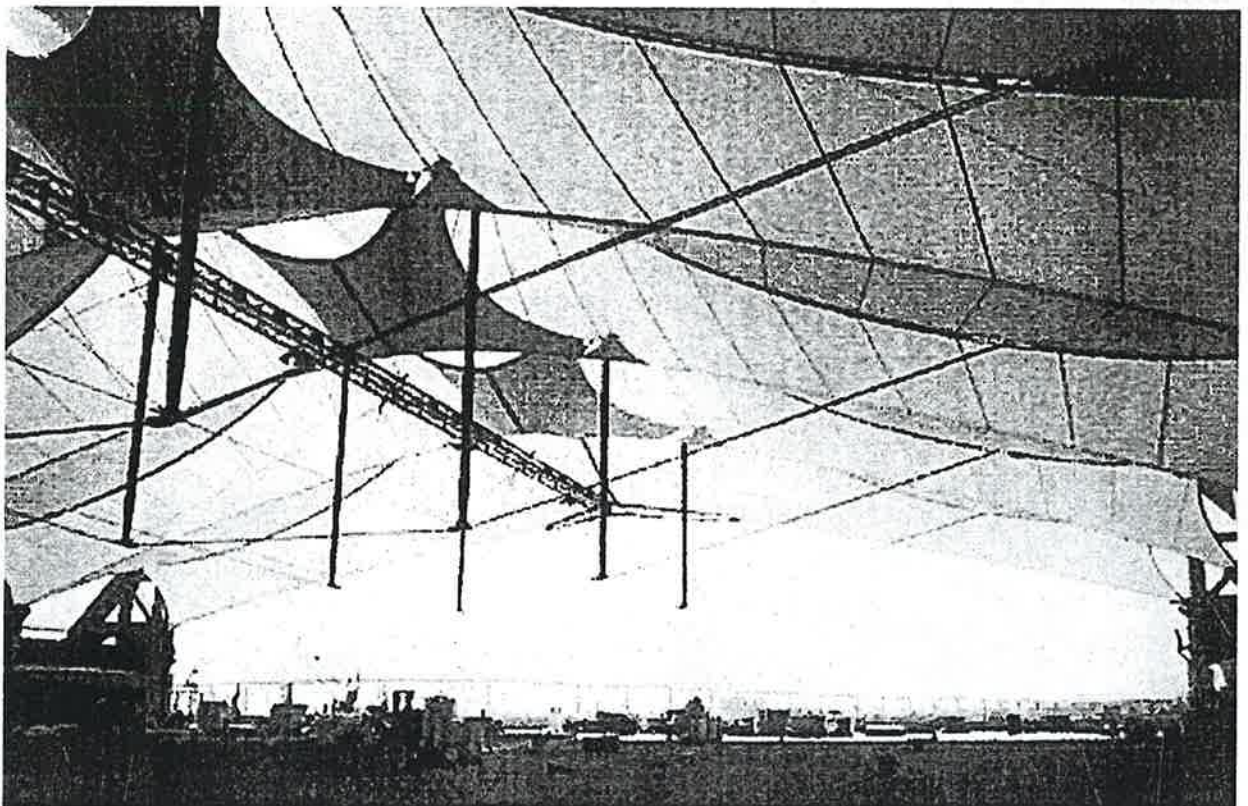


**VISTA superior CUBIERTA Estadio Rey Fadh (Riyadh)**



Una simplificación importante del sistema de soporte de la cubierta lo constituye la introducción en el sistema, de un anillo superior, situado por encima del nivel de cubierta. En lugar de transmitir al suelo las tracciones superiores de los cables de suspensión, se pueden transmitir a este anillo superior de compresión y lo mismo ocurre con la carga radial del cable de estabilización. De este modo, la cubierta transmite así únicamente al suelo, las cargas de componente exclusivamente vertical.

La asociación de tirantes portantes con puntales resuelve con facilidad el soporte de cubiertas tan importantes como el Centro de Convenciones de San Diego (1990) de Geiger - Berger asociados. Se trata de una gran cubierta, de 91,5 m., de luz, y está formada por cinco módulos de 18,3 m de anchura,

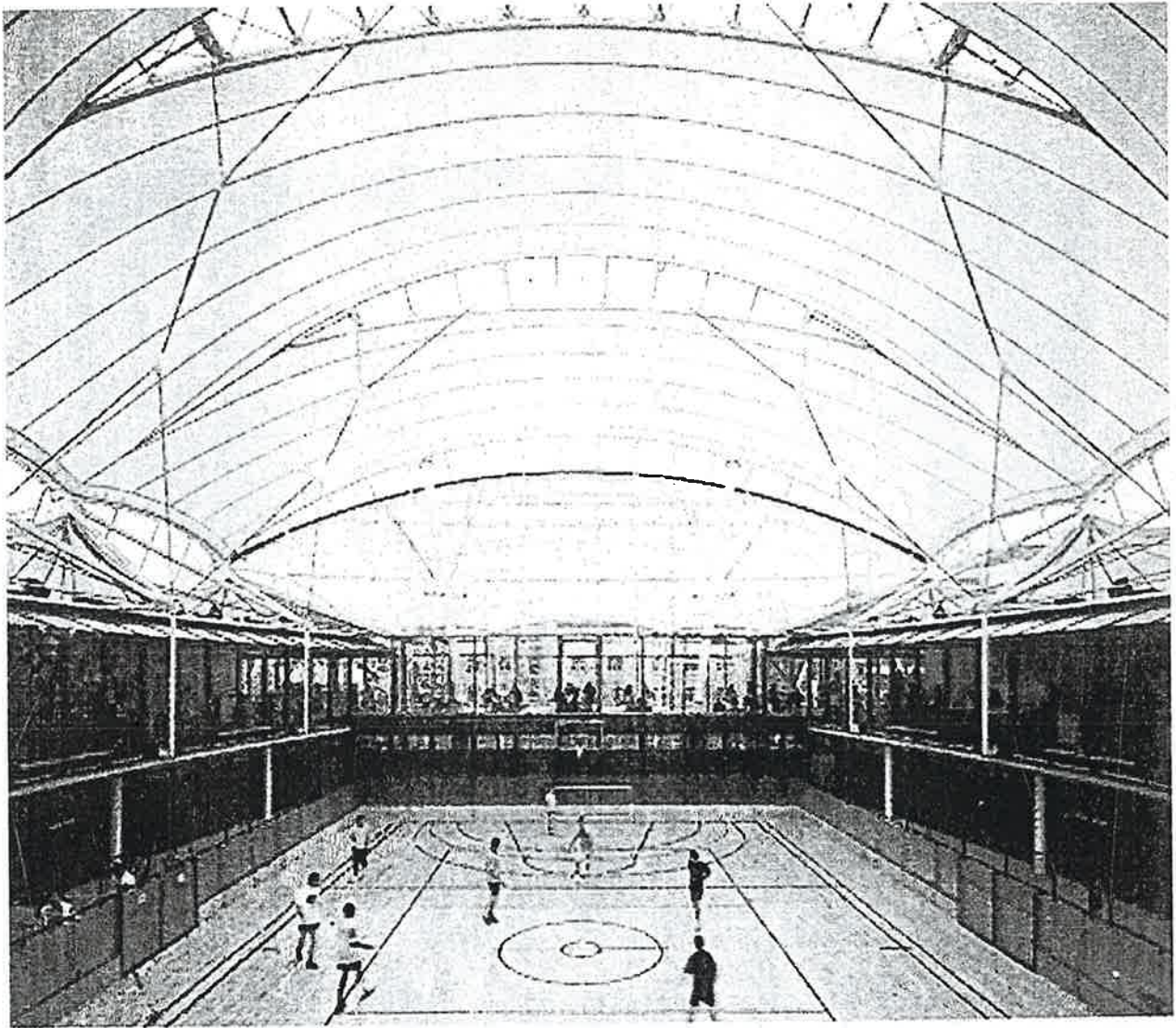


**CUBIERTA colgada de Contrafuertes externos a base de un Sistema de tirantes soportados flotantes en el Centro de Convenciones de San Diego (U.S.A.) (Berger y Geiger)**

Toda la cubierta cuelga de unos grandes contrafuertes externos a través de unos tirantes que soportan dos pequeños puntales flotantes que producen la deseada curvatura en el textil.

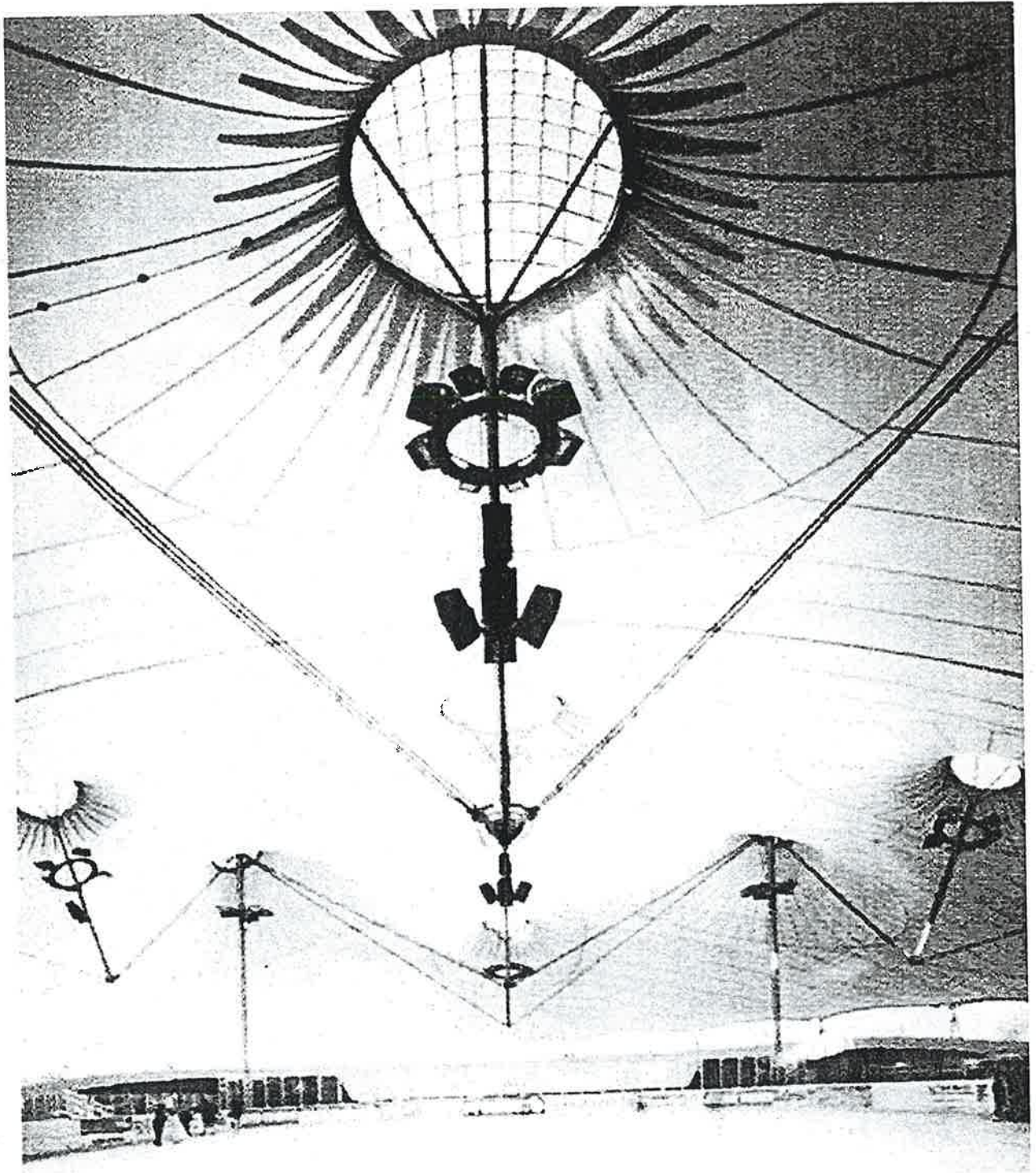
Este mismo tipo de construcción, (la utilización de tirantes y puntales flotantes), lo ha utilizado R. Penzo en la renovación de Schlemberger Facility, situada en los alrededores de París; de poco más de 11 m., de luz.

M. Hopkins también lo utiliza en la nueva sede central de Hacienda de Nottingham, con una cubierta textil sustentada por cuatro puntales que cuelgan los lucernarios metálicos de los que a su vez, cuelga el textil.



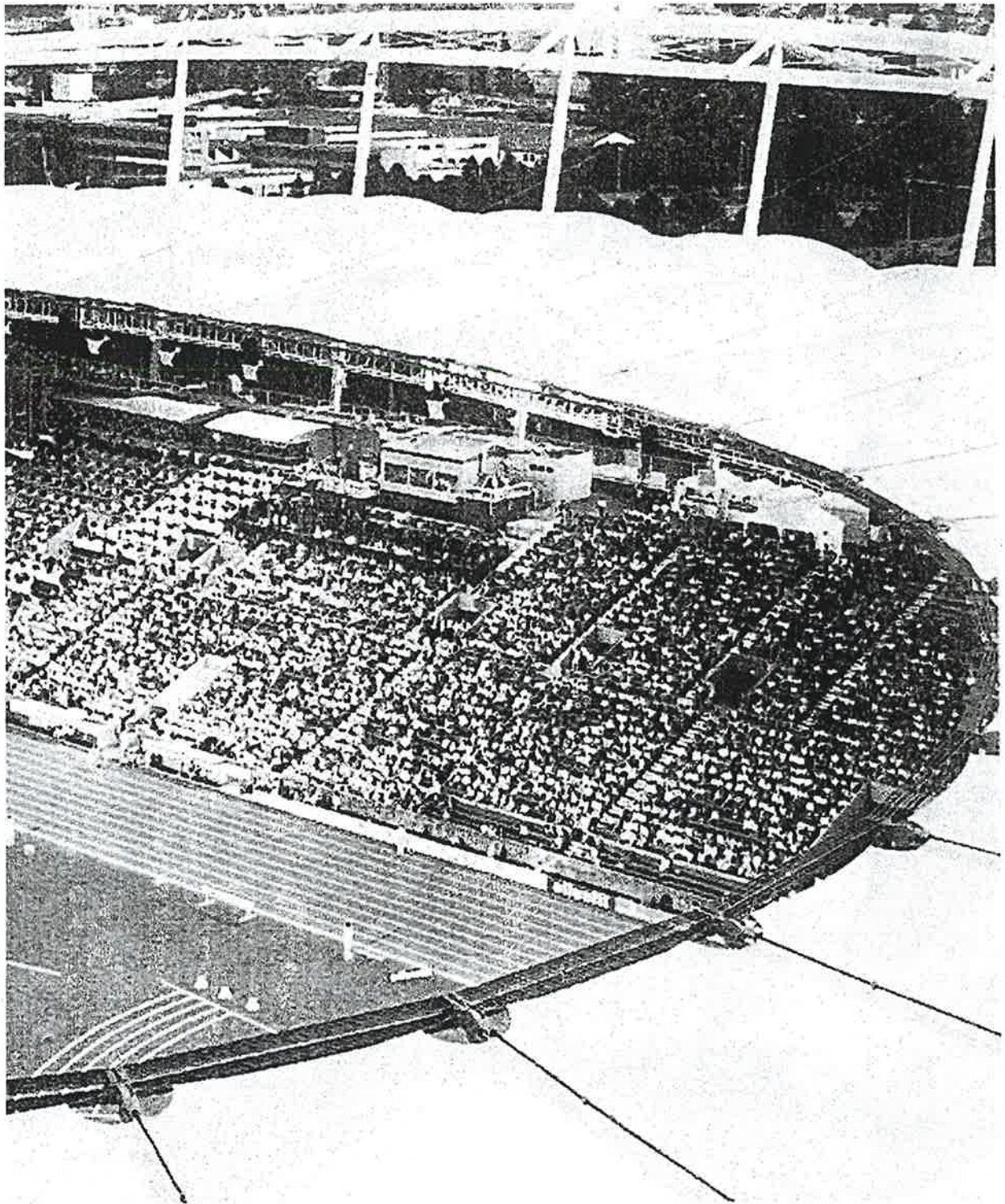
**CUBIERTA TEXTIL sustentada por “puntales” en la sede central de HACIENDA en Nottingham (M. Hopkins)**

El estadio de hielo de Hamburgo, realizado por el equipo de Schlaich, es una elipse de 120 x 70 m, soportado de una manera más elegante por cuatro mástiles que soportan tirantes y puntales flotantes, según se puede observar en la ilustración.



**CUBIERTA** colgada del Estadio de Hamburgo  
(equipo de Schlaich)

Una de las últimas realizaciones de cubiertas soportadas por textiles, es el Gottlieb - Daimler Stadium en Stuttgart (1993), de los arquitectos H. Siegel y actuando como ingenieros J. Schlaich y Bergermann.



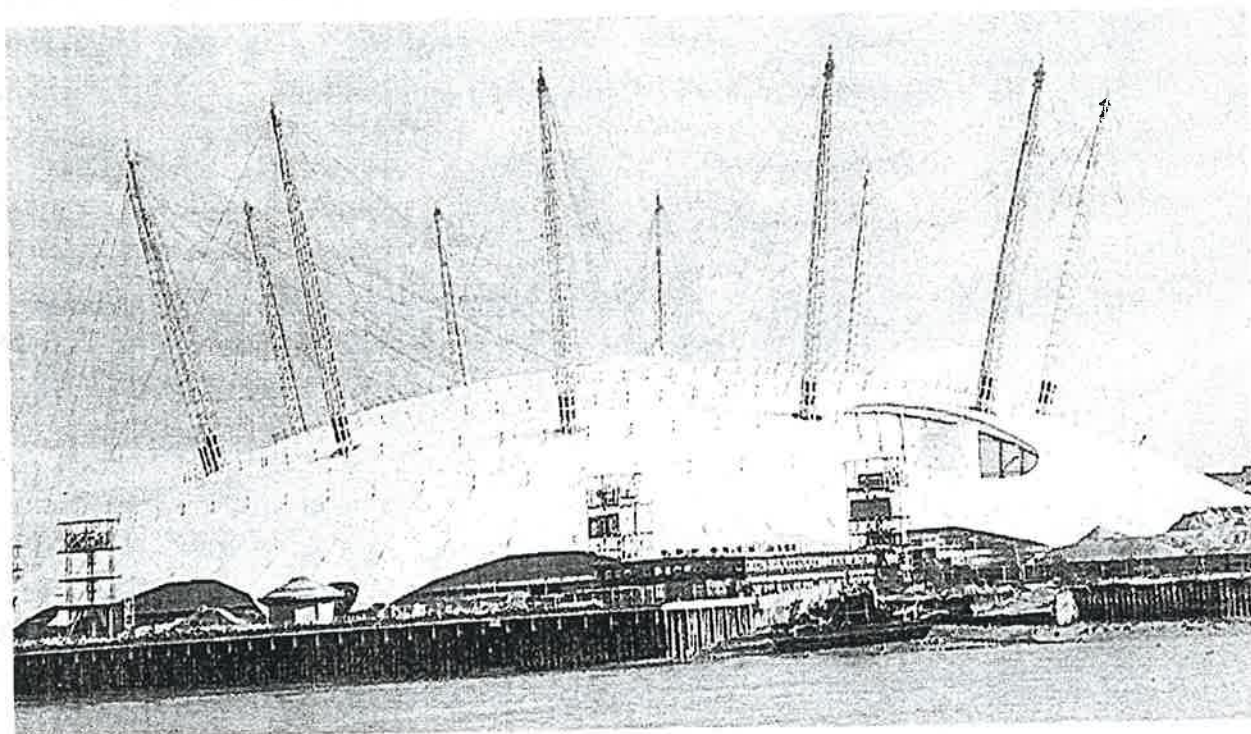
**CUBIERTA del Gottlieb-Daimler Stadium (Stuttgart)  
(H. Siegel y Schlaich - Bergermann)**

El esquema resistente utilizado para el Estadio de Riyadh ha sido mejorado ampliamente en la actualidad. Esta formidable cubierta, de planta elíptica de 280 m de eje mayor y 200 m de eje menor, se subdivide en 40 módulos, cada uno de los cuales se soporta únicamente por un puntal de 45 m de altura que tiene un arco horizontal en la parte superior y otro segundo situado a 17,6 m., del anterior.

De arco superior, doble y muy esbelto, con capacidad de resistencia a flexión en su plano, cuelga el cable portante que soporta un voladizo de 58 m de luz. Como en el Estadio de Riyadh, los cables elípticos horizontales son los que hacen el papel de puntales para equilibrar el tiro de los cables portantes. El cable estabilizador cuelga del portante y soporta 8 arcos tubulares metálicos que sostienen el textil.

El cable portante se sobrecarga con la nieve y el estabilizador con la succión del viento. El trabajo circunferencial, elíptico en este caso, contrarresta, (tanto con el anillo interior, como los dos exteriores), toda la carga horizontal de los cables portantes y tensores, lo que reduce la cimentación de los puntales a resistir únicamente, cargas verticales.

De reciente construcción en Londres, es La Millennium Dome del arquitecto Richard Rogers, y Euro Happold como empresa de ingeniería.



CUBIERTA - CÚPULA de La MILLENNIUM DOME en Londres  
(Richard Rogers y Buro Happold ing.)

Se trata de una cúpula de 320 m de diámetro y 50 m de flecha central. Pero lo curioso de esta cúpula es que no está constituida por elementos a compresión sino por cables a tracción. La cúpula se divide en 72 meridianos, cada uno de ellos formado por un cable de 32 mm de diámetro.

Para mantener la forma de arco, cada uno de sus meridianos está colgado desde unas torres de 100 m., de altura, a distancias variables entre 25 y 30 m, las cuales permiten mantener la forma de arco, (forma ligeramente cambiada), pues, entre punto y punto de suspensión, la forma del arco es una ligera catenaria muy tendida.

Dispone de doce torres inclinadas y en forma de uso desde las cuales parten dos sistemas de tirantes, unos son exclusivamente de cuelgue, que son los que soportan los meridianos y otros son de estabilidad.

Esa cúpula debe estar tensada hacia abajo para compensar las cargas disimétricas, el viento y demás fuerzas ascensionales.

Entre los cables se está disponiendo un tejido clásico en este tipo de construcciones, tejido de fibra de vidrio y teflón, que se pone en carga como los meridianos, por los cables estabilizadores interiores

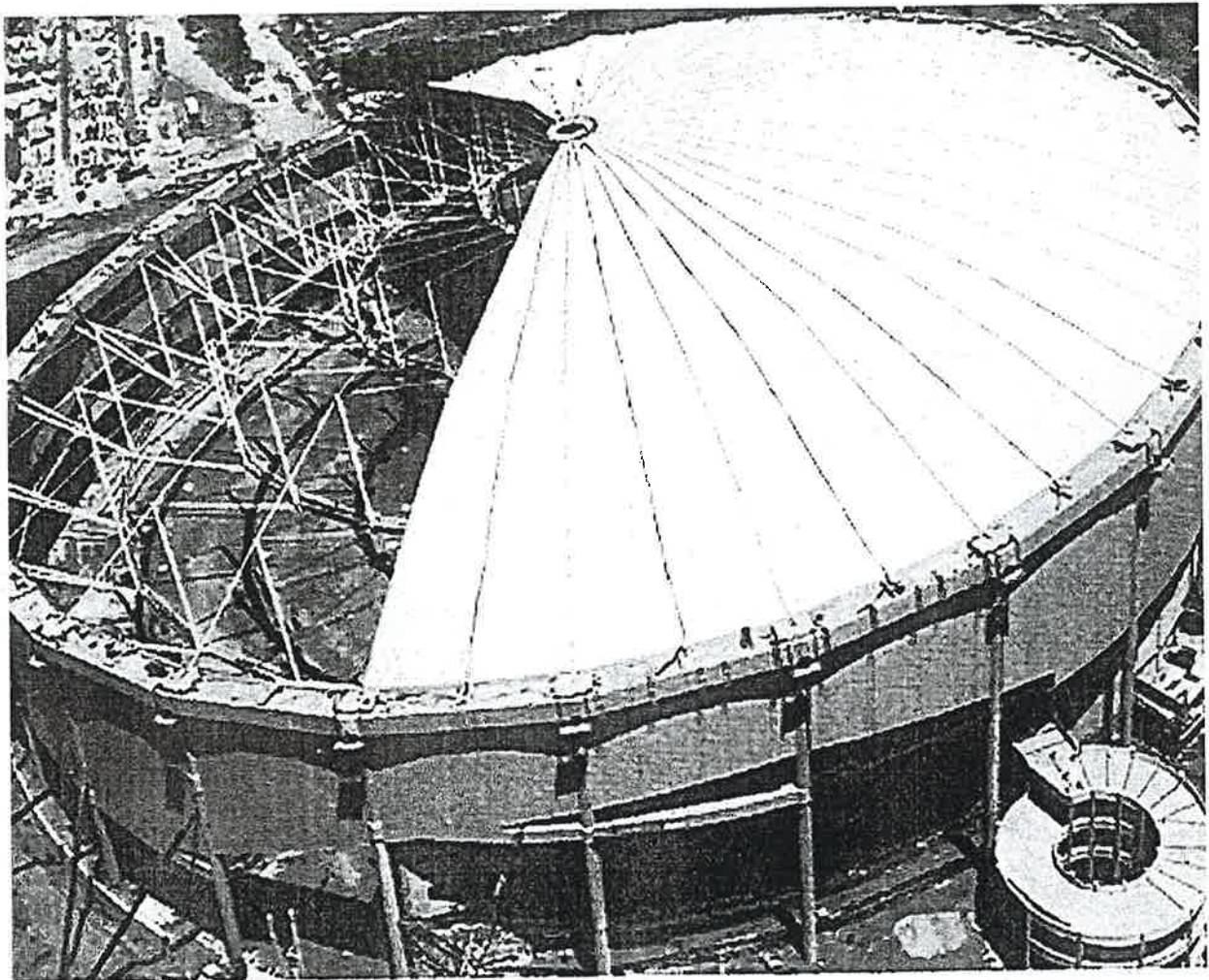
Esta estructura es una evolución de la que el mismo Richard Rogers proyectó para el Massy Autosalon (ya comentada e ilustrada). En donde sustituye los arcos rígidos de esta propuesta, por un sistema de 72 cables meridianos que deben estar atirantados por arriba y por debajo, para mantener la estabilidad del conjunto. La posición de las torres, es también radial, pero dispuesta en sentido circunferencial en lugar de en sentido longitudinal.

Las cúpulas "**Tensegrity**", es otro procedimiento para hacer cúpulas con cables. Sin embargo el de Richard Rogers es un procedimiento más elemental, mucho menos sutil, pues invade el espacio interior con la presencia de las doce torres y los tirantes de estabilización.

"**Tensegrity**" es un término acuñado por Buckminster Fuller para definir a aquellos elementos estructurales que cuentan con elementos discretos de compresión, no continuos, y también con elementos de tracción, continuos, que como decía FULLER, constituyen "**pequeñas islas de compresiones en un mar de tracciones**".

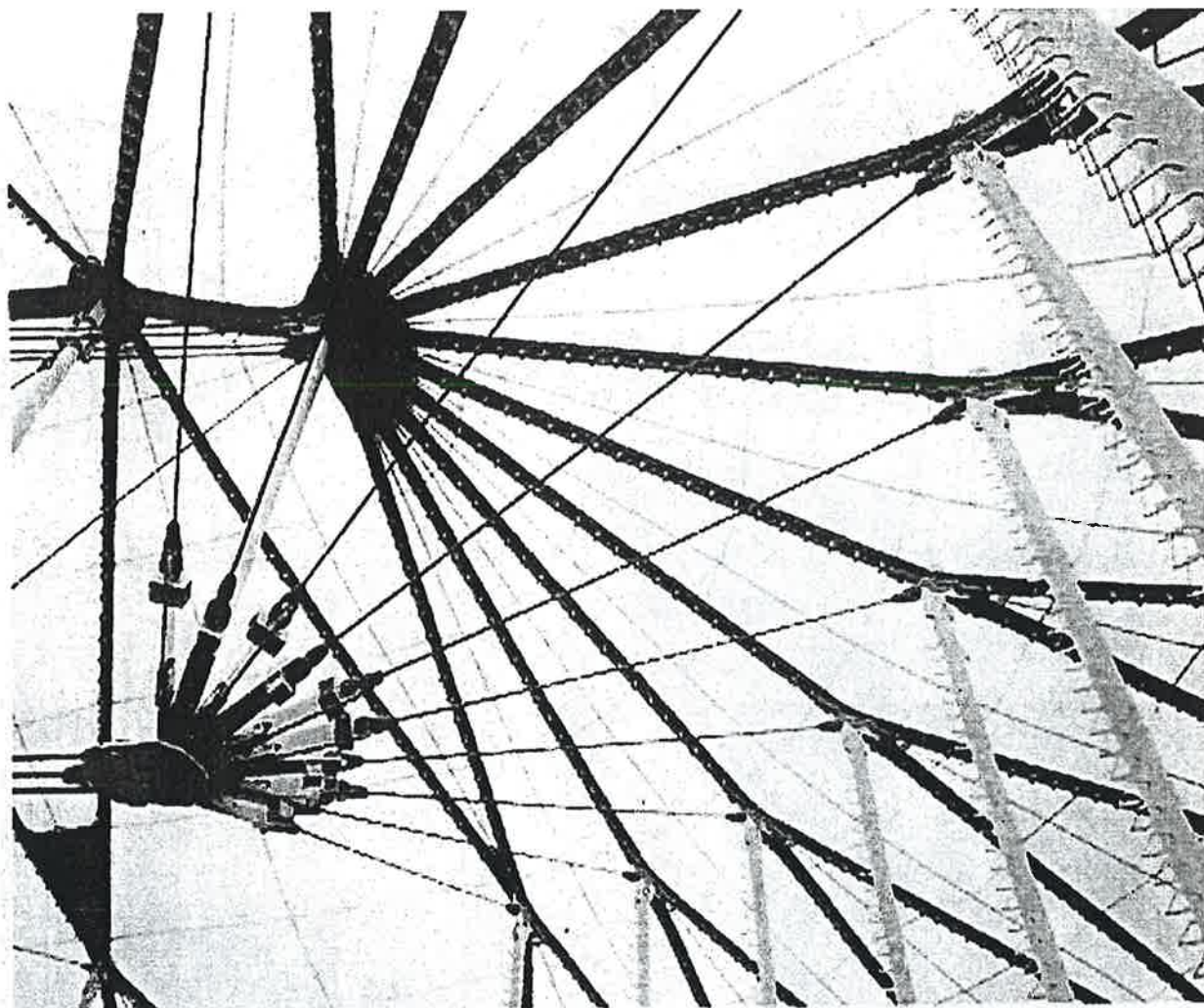
En el Gottlieb - Daimler Stadium en Stuttgart, toda la cubierta, no es sino el anillo exterior de la cúpula, al que se podrían añadir cuantos anillos se quisiera, sin ninguna otra incidencia que la de que cada uno de los anillos adicionales fuese ascendente o descendente "Aspension-Dome" (término que fue definido exactamente por FULLER para el comportamiento de una estructura plana de forma circular, con la disposición de un anillo superior comprimido, que puede variar la forma a la de una cúpula, manteniendo exactamente su comportamiento, gracias al papel que juega dicho anillo circunferencial superior.

En 1988 Geiger construye en San Petersburgo (EE.UU), la Sunwast Dome de 210 m., de luz, donde los 120 m., centrales son retraibles. Es una estructura ligera, con un peso de 10 kg/m<sup>2</sup> y se cubre con un tejido de silicona y fibra de vidrio.



**CUBIERTA de la Sunwast Dome en San Petersburgo  
(D. Geiger y Hellmuth, Obata, y Kassabaum)**

Con planta elíptica, en 1992, Matthys Levy y otros construyen una cúpula “tensigrity” seudo-elíptica de 238 m., de luz principal. La planta está formada por arcos de círculo que se acoplan a las exigencias de un campo de fútbol americano. En esta cúpula se vuelve a la triangulación de las diagonales que preconizaba Fuller, lo cual en este caso es especialmente interesante por la forma en planta de la cúpula.



## CUBIERTA - CÚPULA “tensigrity” Dome en Atlanta (Matthys Levy y Weidlenger)

La construcción de estas cúpulas puede realizarse sin cimbra, pues cada anillo se levanta independientemente, adosándose uno a otro. Su precio es algo superior a las hinchables, pero menor que una cúpula metálica tradicional. Las cubiertas son textiles clásicos de teflón y fibra de vidrio.



Acaba diciendo J. Manterota Armisen, autor de estos estudios, que "estamos en una época de transición entre el pasado y el futuro y esta afirmación que, en sí misma, siempre es evidente, toma aquí un significado especial cuando el pasado fue sustantivo y el futuro también lo será. El planteamiento científico del hecho constructivo, produjo un cambio fundamental en la concepción de la arquitectura.

La generalización y extensión de los Nuevos Materiales, compuestos a base de fibras de vidrio, fibras de carbono o cualquier otro tipo de fibra, inmersas en matriz de resina epoxi, o cualquier otro tipo de resina adecuada, unido al desarrollo de las estructuras adaptables, capaces de variar sus características resistentes con la sollicitación, transformarán hasta tal extremo lo conocido que podemos suponer que estamos viviendo en la actualidad, a estos efectos, el principio de la tercera revolución industrial".

## Tirantes

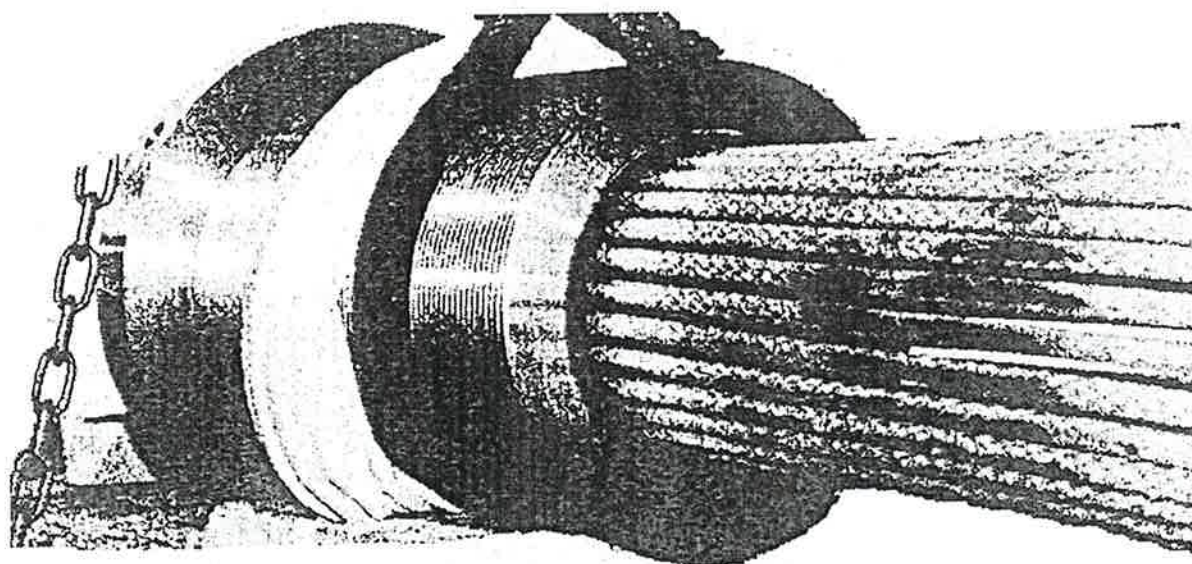
En numerosas aplicaciones donde existen problemas de corrosión, o en edificios de comunicaciones o transmisiones donde los tirantes metálicos serían susceptibles de calentamiento por absorción de la energía radiante o de interferencias en la transmisión de ondas electromagnéticas, se utilizan tirantes de fibras.

Si los esfuerzos de tracción son de nivel medio-alto (hasta 2700 MPa) se utilizan fibras de vidrio. Si los esfuerzos superan ese valor (desde 2700 MPa hasta 4500 MPa) se utilizan fibras de carbono o aramida (kevlar o twaron).

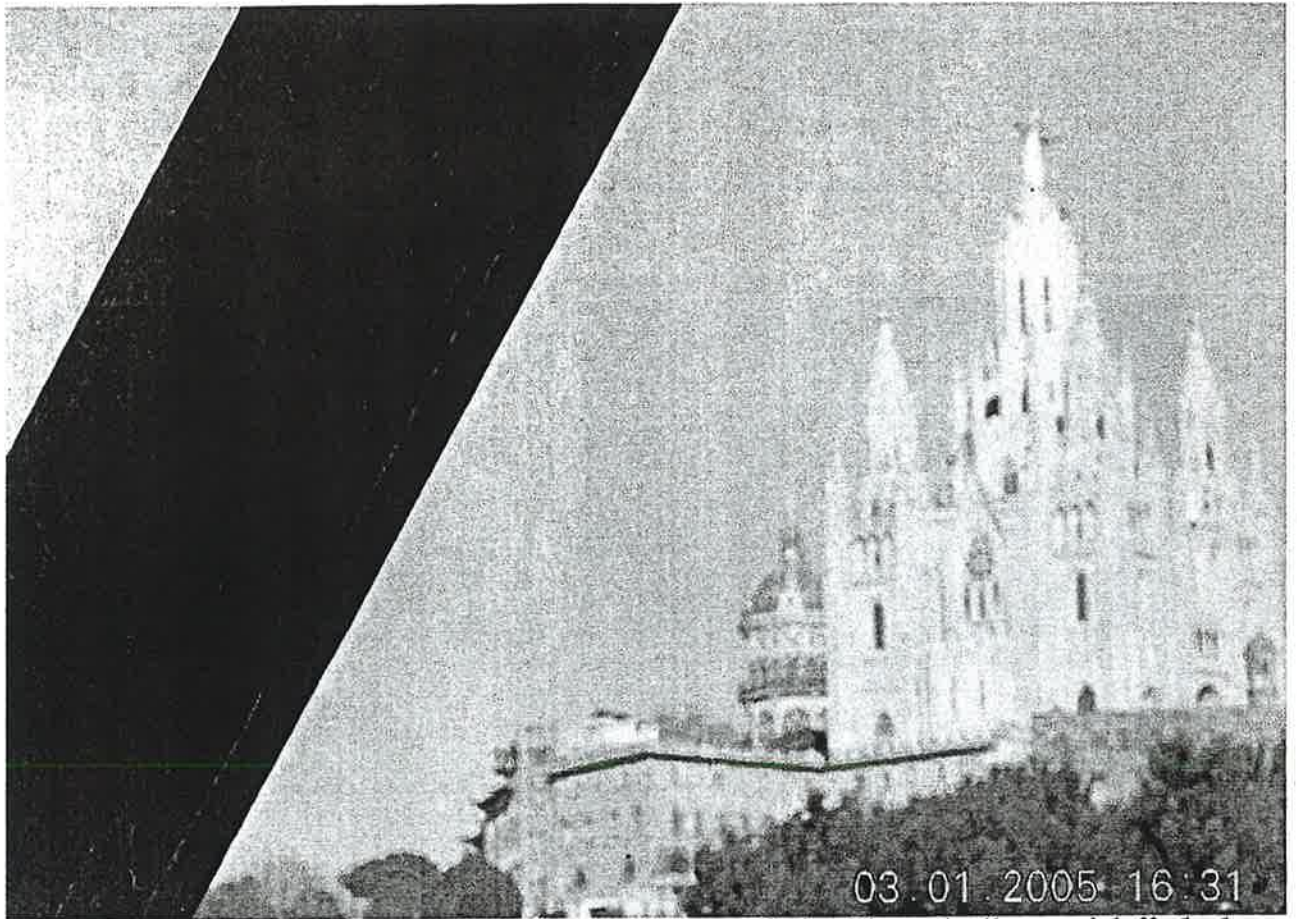
Como ejemplo de aplicación, tenemos la conocida Torre de Telecomunicaciones de Collserola de 268 metros de altura, cuyo proyecto ejecutivo fue desarrollado por los Doctores Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Julio Martínez Calzón y Manuel Julia Vilardell sobre el proyecto original desarrollado por el arquitecto británico Norman Foster.

En esta construcción, los tirantes superiores, cuya misión es inmovilizar la base del mástil, están situados en la zona de emisión, por lo que en caso de ser metálicos serían susceptibles de calentamiento por absorción de la energía radiante y además producirían problemas de distorsión de las imágenes emitidas. Por esta razón, ya en el proyecto base figuraban de fibra orgánica.

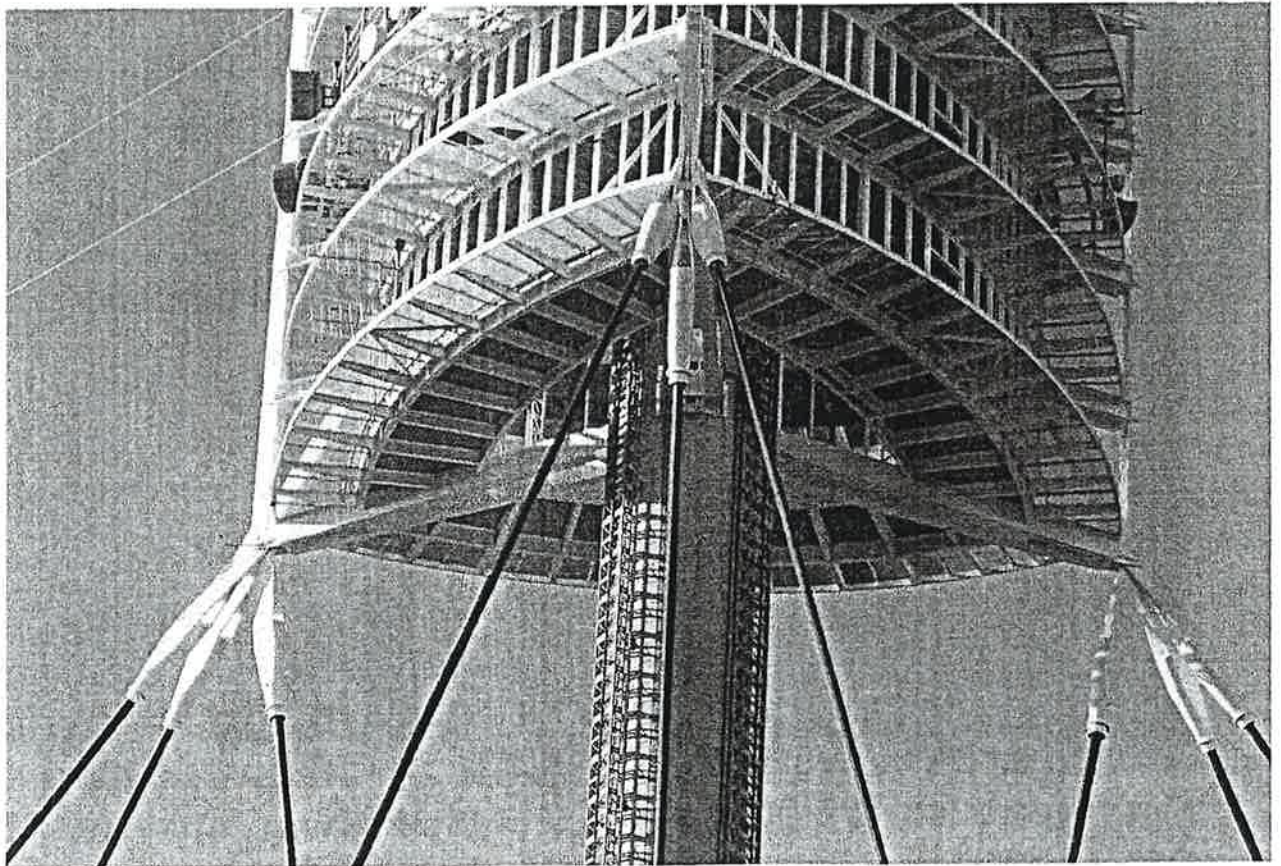
Durante el proyecto ejecutivo se eligió fibra de aramida (poli-parafenilo tereftalamida), producida por Twaron. Cada uno de los tirantes se compone también de cables en paralelo, en este caso de siete cordones de 50 mm., de diámetro, colocados dentro de una vaina de polietileno.



**TIRANTE de UNIÓN** formado a base de Resina de Vinilester y redondos de Fibra de Vidrio, unidos mediante una Cabeza Metálica o Mordaza.

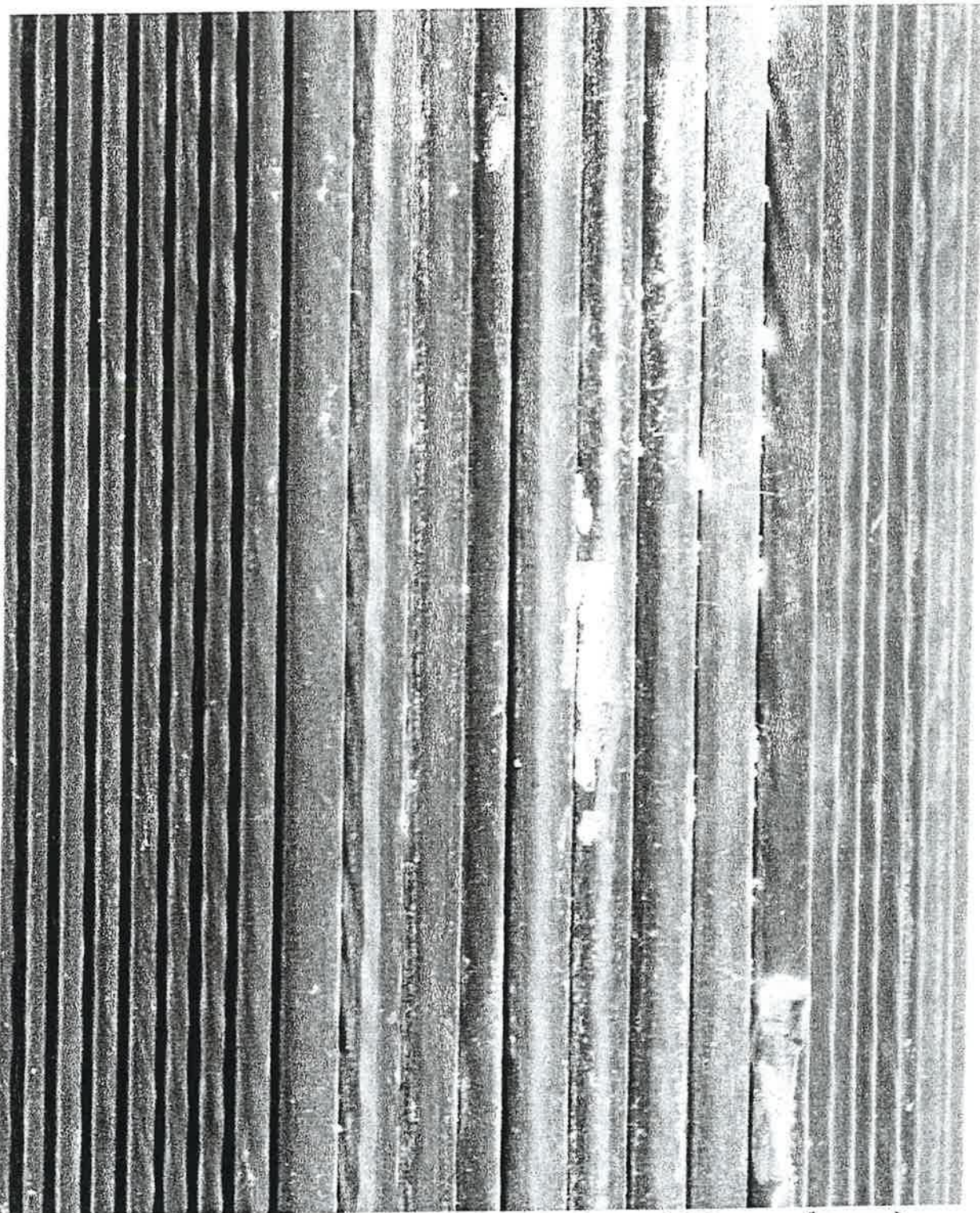


detalle de la configuración de un “tirante” de fibra de “aramida” de la  
TORRE de COLLSEOLA

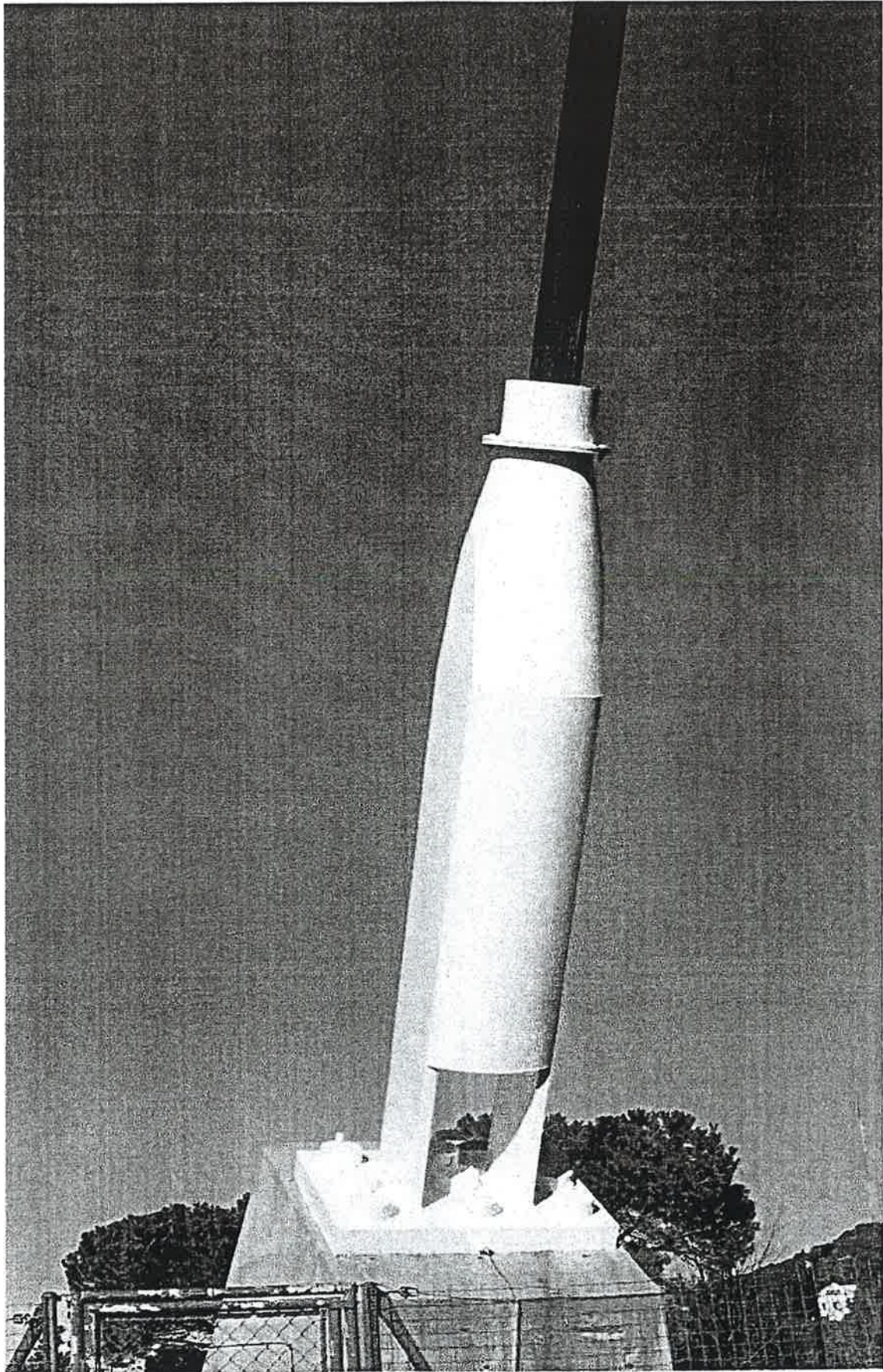


TORRE de COLLSEOLA (Barcelona) Detalle del “atirantado”  
(tirantes de fibra de aramida protegidas por envoltura de polietileno)

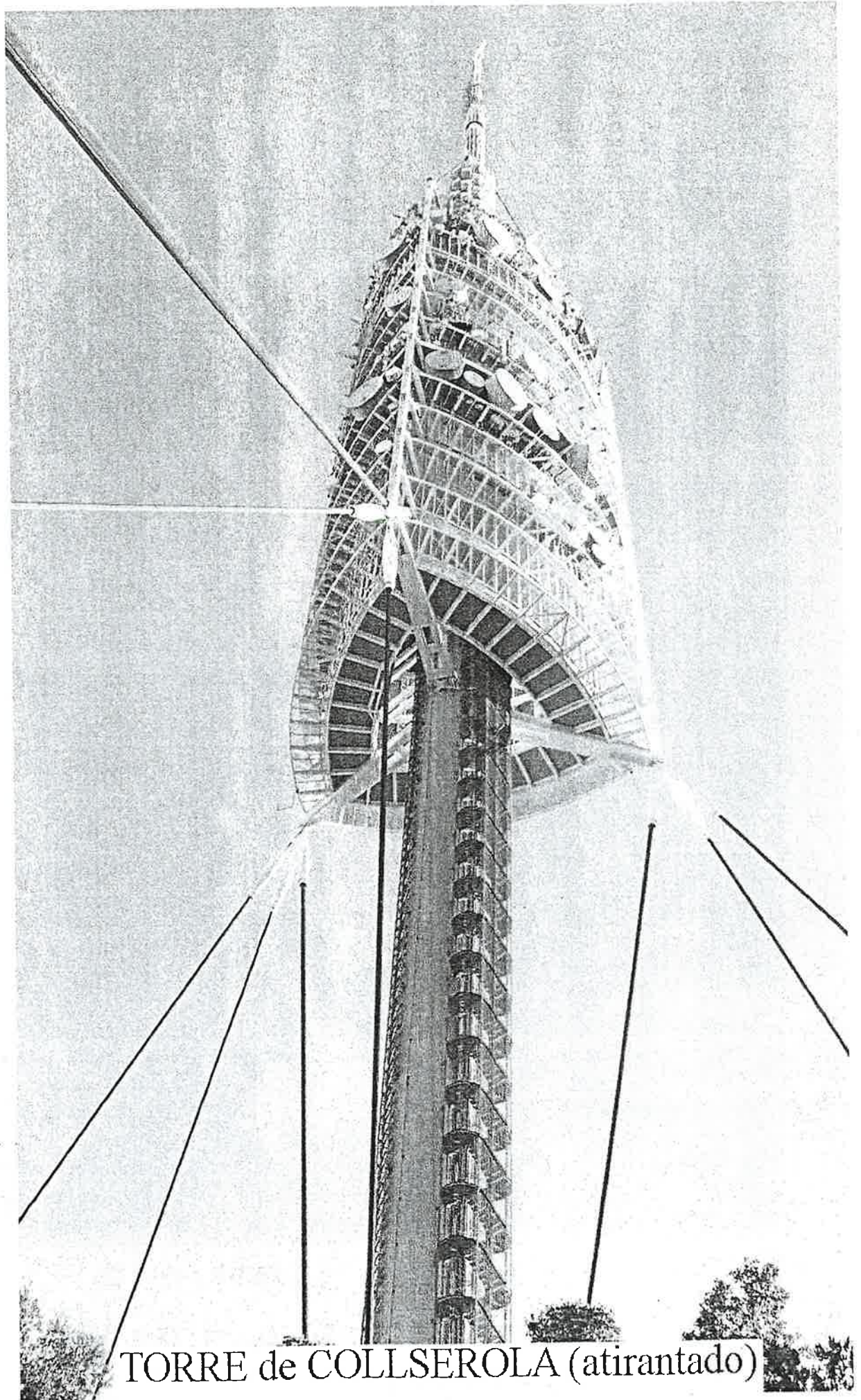
Durante el proyecto ejecutivo se eligió fibra de aramida (poli-parafenilo tereftalamida), producida por Twaron. Cada uno de los tirantes se compone también de cables en paralelo, en este caso de siete cordones de 50 mm., de diámetro, colocados dentro de una vaina de polietileno.



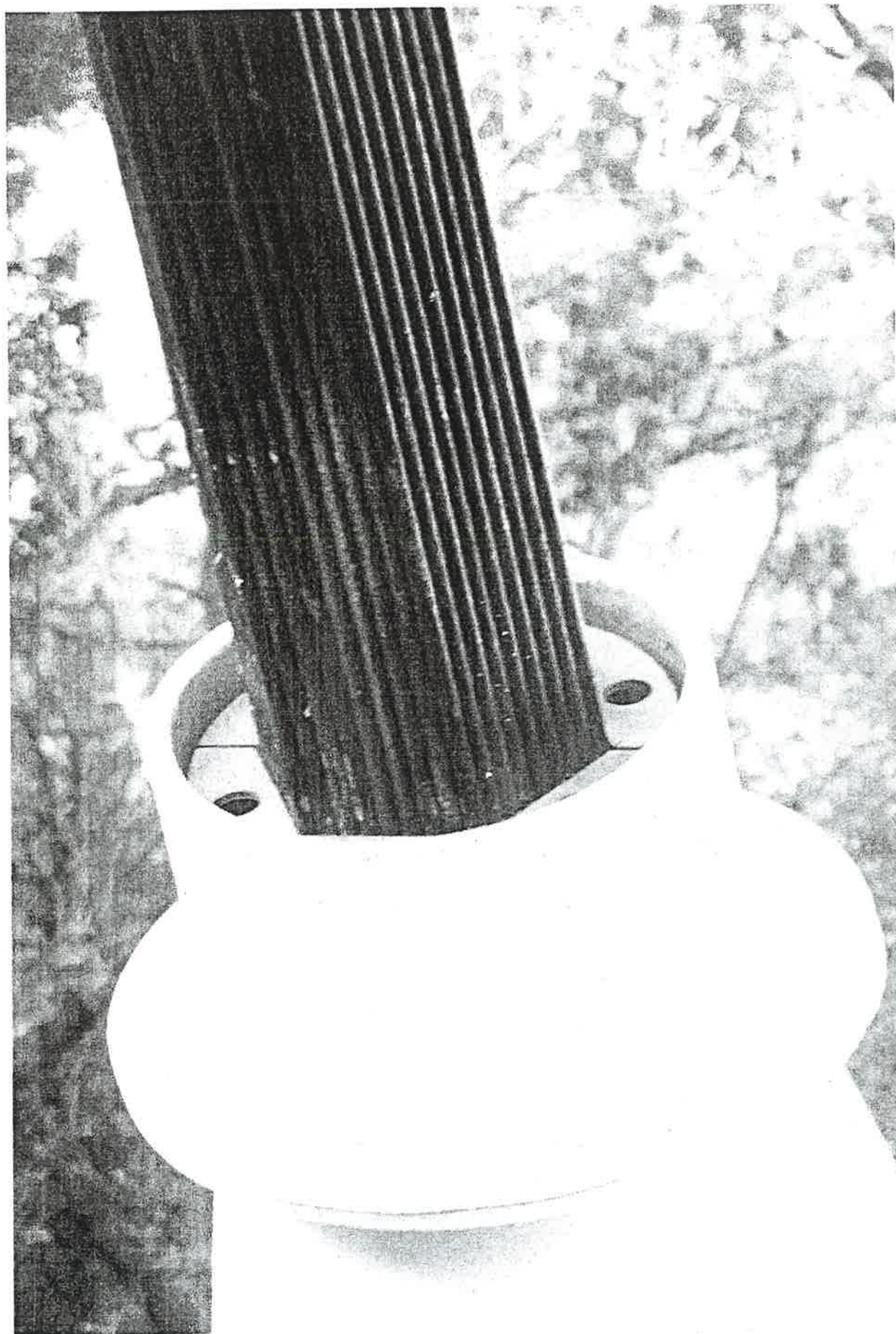
**TORRE de COLLSEROLA ( Barcelona)  
DETALLE fundas de poli-etileno recubrimiento  
de las FIBRAS de ARAMIDA**



**DETALLE del ANCLAJE**  
**(detalle de la funda arrugada)**  
**(detalle de la protección catódica)**



TORRE de COLLSEROLA (atirantado)



detalle del anclaje y configuración de un  
TIRANTE de fibra de “aramida”

