

## **Conceptos básicos para el diseño y análisis de estructuras ligeras tensadas ( 2ª parte).**

FELIX ESCRIG PALLARES, PROF. DR. ARQUITECTO.  
JUAN PEREZ VALCARCEL, PROF. DR. ARQUITECTO.

### **INDICE GENERAL.**

1. *Introducción.*
2. *Tipologías.*
3. *Materiales y propiedades.*
4. *Determinación de formas.*
5. *Cálculo de estructuras tensadas.*
6. *Despiece de conjunto y confección de patrones.*
7. *Acciones a considerar.*
8. *Disposiciones constructivas.*
9. *Planteamiento del proyecto de estructura tensada.*
10. *Pliego mínimo de prescripciones técnicas particulares.*
11. *Relación de proyectos importantes y sus características.*

### **7. ACCIONES A CONSIDERAR.**

**E**n estas estructuras, las concargas son de poca relevancia, y tanto el peso propio como la acción de elementos añadidos de carácter permanente, es poco importante en el conjunto de las acciones.

Como son estructuras que resisten mal las cargas puntuales, también hay que evitar colgar de ellas elementos pesados que puedan influir en el dimensionamiento.

Las acciones fundamentales pues que vamos a incluir en el calculo son:

**1. Acciones de pretensado inicial:** Las que resultan de someter a una tensión generalizada la estructura. Como estas acciones tienen que introducirse mediante mecanismos físicos adecuados que normalmente implican acortamiento de un elemento, el pretensado se considerará aplicado en donde estos se emplacen y una de las hipótesis de carga será la distribución que la tensión de este elemento inducirá en los restantes.

**2. Cargas de nieve:** Se considerará según normativa aunque puede ser problemático el hecho de que, por su forma estas estructuras contienen valles y depresiones en donde puede acumularse una carga considerable. El hecho de que la normativa española obligue en cualquier caso a considerar una carga mínima de nieve y sus posibles apilamientos introduce esfuerzos considerables o exige considerar formas que no los propicien.

**3. Cargas de viento:** En esta hipótesis la succión introduce esfuerzos más importantes que la presión y su magnitud y distribución puede hacerse simplificada según norma; pero un análisis más pre-

ciso requiere el auxilio del túnel de viento.

**4. Acciones térmicas:** Puesto que estamos en estructuras en tensión, previamente a la aplicación de las cargas de uso, los cambios geométricos de sus elementos pueden alterar considerablemente los esfuerzos internos. Incrementos de temperaturas destensarán la estructura así como la estirarán los descensos de la misma.

**5. Acciones reológicas:** El comportamiento de los materiales que componen estas estructuras varían con el tiempo, bien por envejecimiento, por fluencia u otras circunstancias. Con el tiempo estas estructuras se destensan y puede ser necesario retensarlas periódicamente.

**6. Acciones dinámicas:** Algunas acciones como las de viento pueden requerir la comprobación del dimensionamiento frente a efectos dinámicos; aunque ello es siempre difícil y con poca bibliografía.

Todas estas acciones, consideradas como hipótesis simples, tienen que materializarse como cargas aplicadas en los nudos de las mallas con la que hemos discretizado la estructura a partir del área de influencia de cada uno de estos nudos. Sin embargo no tienen razón de ser la consideración de hipótesis simples que luego puedan ser utilizadas en varias combinaciones, puesto que estamos en estructuras no lineales y no se admite la proporcionalidad de cargas-esfuerzos así como tampoco es indiferente el orden de aplicación de las acciones.

De este modo tenemos que estudiar combinaciones de hipótesis en conjunto, y atendiendo a la historia de la estructura. Estas podría ser:

- COMBINACION 1: Estructura sometida a las acciones del pretensado inicial en los puntos de apli-

cación de los gatos o tensores.

- COMBINACION 2: Con los esfuerzos anteriores habrá que estudiar la variación de esta estructura sometida a cargas de nieve mayoradas con 1,5.
- COMBINACION 3: Con los esfuerzos de la Combinación 1 habrá que añadir la acción de viento en uno u otro sentido mayorado con 1,5.
- COMBINACION 4: Con la estructura de la combinación 1 incluimos simultáneamente las acciones de viento en uno u otro sentido más las cargas de nieve mayoradas ambas con 1,33.
- COMBINACIONES 5, 6 y 7: A los resultados de las combinaciones 2, 3 y 4, habrá que añadirles los efectos del descenso térmico que corresponda según norma.

Para el cálculo de la cimentación habrá que utilizar estas combinaciones sin mayorar para obtener las reacciones correspondientes.

**8. DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS.**

Estas estructuras pueden estar compuestas para

su funcionamiento, además del propio material de cubierta que estructuralmente será a base de algún textil o de una malla de cables, por los siguientes elementos adicionales:

- **MASTILES:** Son elementos longitudinales que sirven para estabilizar los puntos altos y transmitir a compresión las reacciones.

La estructura de cubierta se apoyará en ellos mediante elementos auxiliares que permitan repartir las cargas ya que en estos puntos se producen las máximas tensiones.

Los mástiles desarrollan grandes longitudes y por ello aunque los esfuerzos de compresión que transmiten no sean importantes, el efecto de pandeo hace que deban dimensionarse generosamente. Véase los soportes de la figura 8 para grandes luces.

Cuando queremos disminuir el impacto visual podemos utilizar sección variable, como en el caso de la figuras 2 y 6, o en el de la figura 32.

Una solución frecuente es utilizar estabilizadores del pandeo como en el caso de la figuras 11 y 18 que no requieren incrementar la sección en compresión. En el mismo tipo entra la solución de

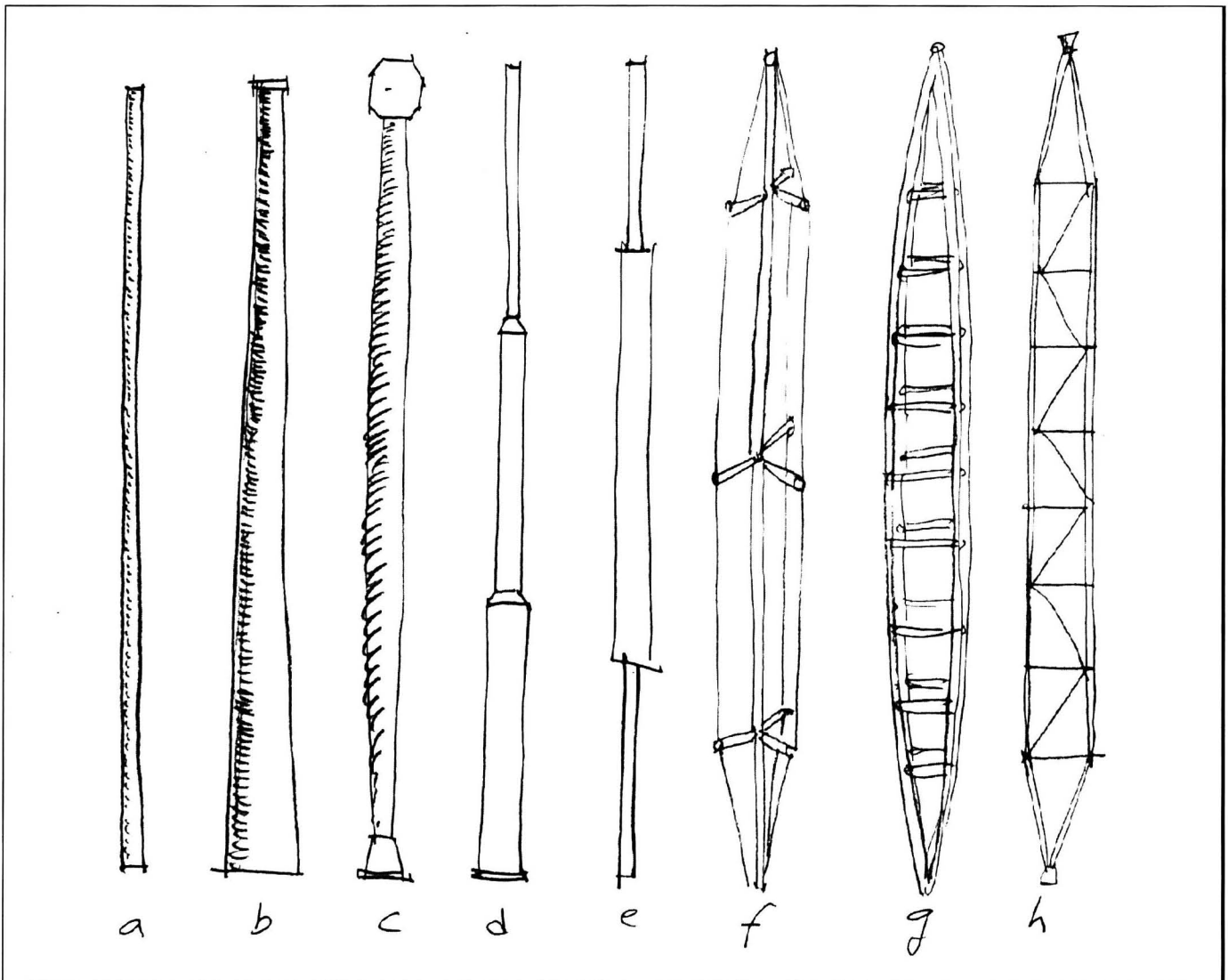


Figura 32:

Soportes utilizados en estructuras tensadas.



usar geometría variable sin incrementar la sección mediante tubos empresillados (figura 20) o celosías metálicas (figuras 10 y 34).

Otra solución es usar soportes pareados (figura 23) o trípodes (figura 35).

Los soportes servirán para que apoyen los puntos altos de la cubierta directamente con la utilización de elementos intermedios que permitan repartir las acciones puntuales, por ejemplo caperuzones terminales como los que pueden verse en las figuras 7 ó 21 y en detalle en las figuras 36 y 37.

Más frecuente es que la cubierta esté sujeta con cables que llegan a la cabeza de los soportes (figuras 6 y 7).

- **ESTRUCTURA EN CELOSIA:** Son las que se denominan estructuras integradas y están constituidas por la unión de una estructura espacial con barras de gran longitud entre cuyos nudos se tensa la cubierta, proporcionando así unos conjuntos muy rígidos enmarcados que no transmiten a la cimentación más que la resultante de las acciones exteriores, y no los esfuerzos de tracción y compresión separados que obligan a grandes cimentaciones.

La figura 38 muestra uno de los ejemplos más sencillos, que se va complicando en las composiciones de las figuras 39 y 40.

La figura 41 es una aplicación debida a **Host Berger** al igual que la figura 42 en que se han sustituido muchas de las barras de la celosía por cables.

Estas estructuras en celosía tienen grandes posibilidades por la versatilidad de formas que permiten en un conjunto muy controlado geométricamente.

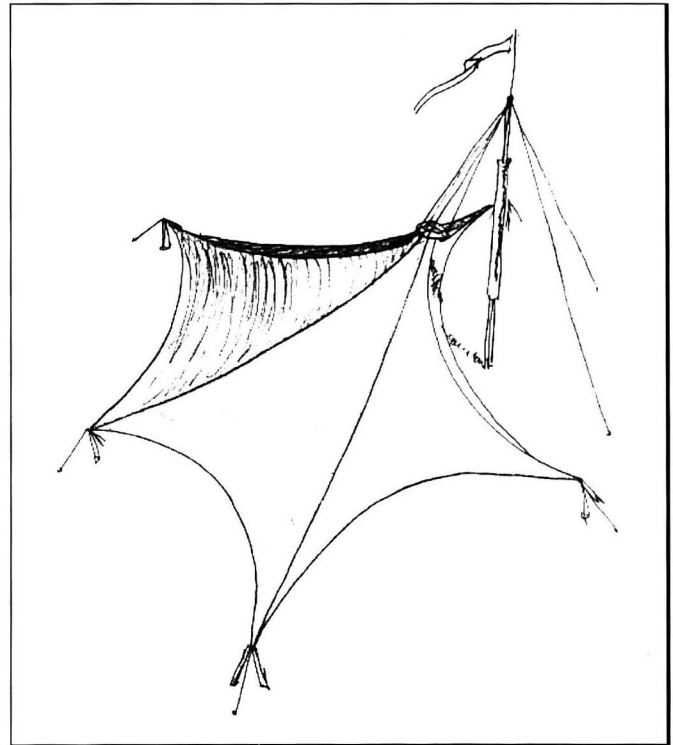


Figura 33:  
*Portada expo'75 Okinawa.*

- **APOYOS EN BORDES RIGIDOS:** Una forma más económica de resolver estructuras tensadas enmarcadas consiste en delimitar unas aristas en el espacio materializadas en perfiles tubulares y ajustar superficies tensadas a estas aristas. La figura 15 ejemplifica algunas de estas soluciones con la que se han construido muchas de las estructuras más

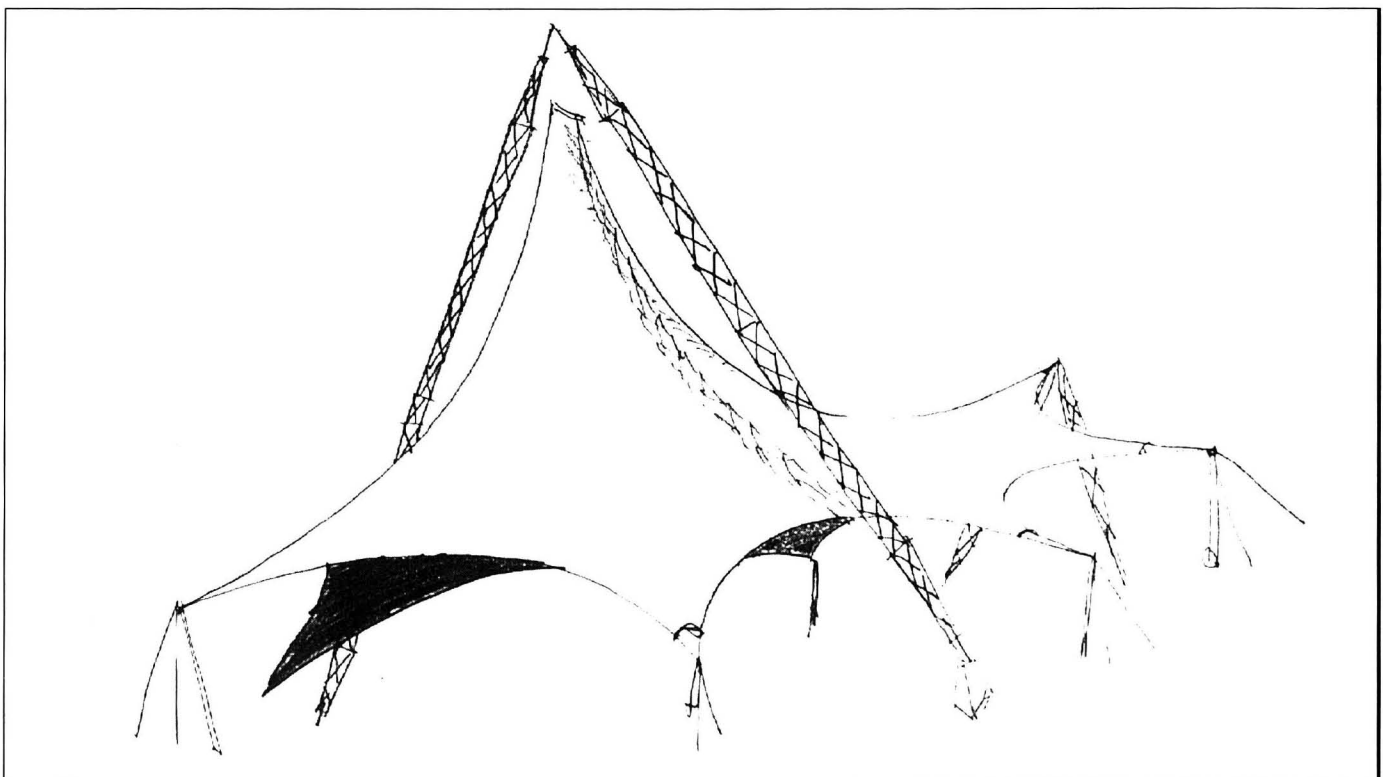


Figura 34:  
*Carpa en Queeny Park. St. Louis, Missouri.*

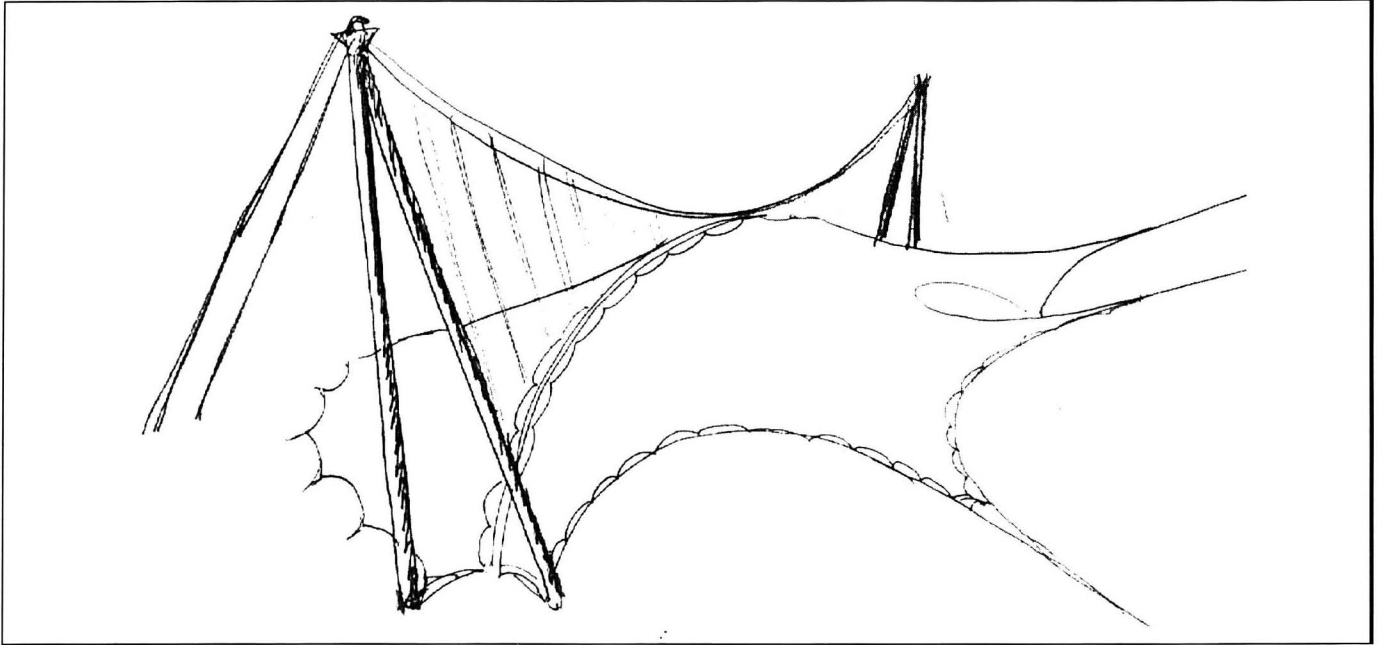


Figura 35:  
*Pabellón de exposiciones Feria de Milán 1985.*

conocidas (figura 1).

El tensado entre aristas tiene las mismas ventajas que las estructuras en celosía respecto al autoequilibrio interno y mayor ligereza. Las figuras 43 y 44 muestran algunas combinaciones posibles de curvas planas o alaveadas. La figura 45 es un ejemplo de aplicación.

- **APOYOS SOBRE VIGAS:** Cuando los bordes citados anteriormente están sometidos a grandes esfuerzos o son de grandes luces, el elemento lineal requiere grandes rigideces. Es conveniente que para evitar la sensación pesadas de grandes secciones de acero se acuda a vigas en celosía, planas o espaciales (figura 46).

- **APOYOS SOBRE CABLES:** La sensación de ligereza inherente a este tipo de estructuras se incrementa si prescindimos de todo elemento rígido ligado a la cubierta y estos se sustituyen por cables sustentados en puntos altos alejados de la misma. Las figuras 23 y 47 son buen ejemplo de ello tratándose de un cable exterior. La figura 48 es un caso similar con el cable contenido en la cubierta.

- **APOYO SOBRE CELOSIAS DE CABLES:** En otros casos esta misma sensación de liviandad se obtiene por medio de celosías de cables, como las correspondientes a la figura 12 y cuyo uso en una estructura de grandes dimensiones puede verse en la figura 35.

- **CIERRES DE BORDE:** Los bordes de estas estructuras es conveniente que vayan siempre reforzados con un elemento terminal más resistente que recoja todos los esfuerzos sobrantes y los transmita a la cimentación o a otros elementos resistentes.

Estos elementos de borde pueden ser algunas de las estructuras rígidas tratadas, tales como perfiles metálicos, vigas y celosías trianguladas. Pero mucho más frecuentemente se usan cables que adoptan la forma funicular de las cargas que recogen. A estos cables se los denomina "relingas". La mayor parte de las estructuras de los ejemplos tienen bordes cerrados con relingas. Algunos como los de las figuras 2 y 6 tienen un gran desarrollo longitudinal y expresan la parte más rotunda del proyecto. La relinga en anillo del Estadio de Riyadh (figura 9) está compuesta por seis grandes cordones separados (figura 51g). En cualquier caso, la forma lobular con que la relinga cierra todo el perímetro, es uno de los rasgos típicos de las estructuras tensadas.

La forma en que las relingas se atan a la cubierta es muy variada y de esta sujeción depende el funcionamiento adecuado pues una mala sujeción

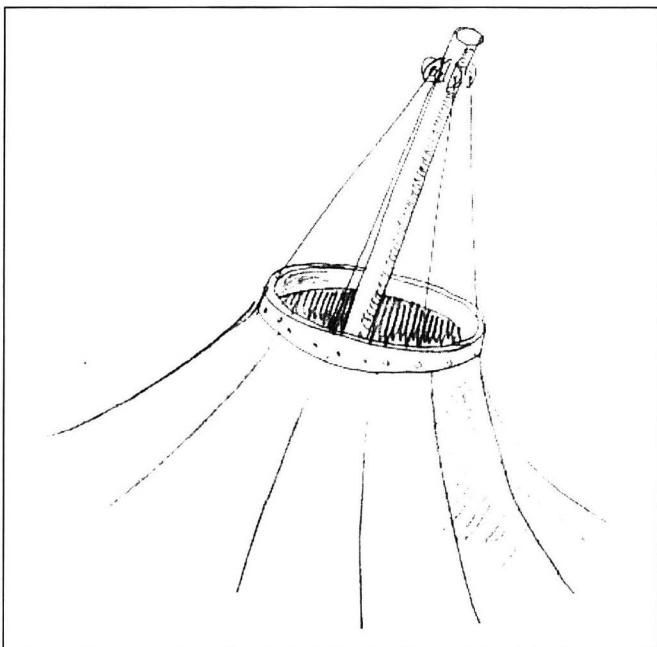


Figura 36:  
*Sujeción de la cubierta a un mastil.*



haría que el elemento de borde no trabajara en conjunto con el resto.

En el caso de redes de cables hay soluciones basadas siempre en piezas especiales que resuelven bien el problema (figura 49). En el caso de conexión de la relinga a la superficie textil pueden utilizarse algunas de las soluciones de la figura 50.

El encuentro de dos relingas puede ser uno de los puntos más singulares de la estructura ya que además intstarán en este punto otros elementos para equilibrar los esfuerzos resultantes, tales como tensores, mástiles o anclajes. Los elementos entre relingas se resuelven con "puños". En la figura 37 vemos un puño preparado para recibir un tensor que permitirá estirar la estructura. En la figura 51 se muestran algunas soluciones de puños.

- **TENSORES:** Los tensores son mecanismos que permiten introducir tracciones en la estructura por accionamiento de determinadas piezas. Fundamentalmente introducen acortamientos entre los puntos que unen. Ello se consigue en la mayor parte de los casos con vástagos roscados. La figura 52 muestra algunos ejemplos. Este sistema para intro-

ducir tensiones es muy sencillo y eficaz y es el más generalizado. El único inconveniente es que no permite conocer la magnitud de las fuerzas introducidas más que en forma muy genérica. Para calibrar estas fuerzas con precisión hay que introducir muelles o dinamómetros interpuestos aunque no es habitual tomar estas precauciones.

- **ANCLAJES Y CIMENTACIONES:** Las tracciones utilizadas para tensar la estructura y para equilibrar los mástiles deben llegar a la cimentación y ser absorbidas mediante disposiciones capaces de resistir el arrancamiento.

Es frecuente introducir algún tensor entre los cables y el elemento de cimentación (figura 52).

Las cimentaciones usuales son:

- Zapatasy bloques masivos que equilibran las fracciones por peso propio.
- Pilotes en tracción, en general apoyados por peso propio de los encepados.
- Pilotes hormigonados in situ con bulbo terminal.
- Ménsulas ligadas a cimientos comprimidos.
- Anclajes superficiales que se equilibran con el peso de las tierras que arrastran.

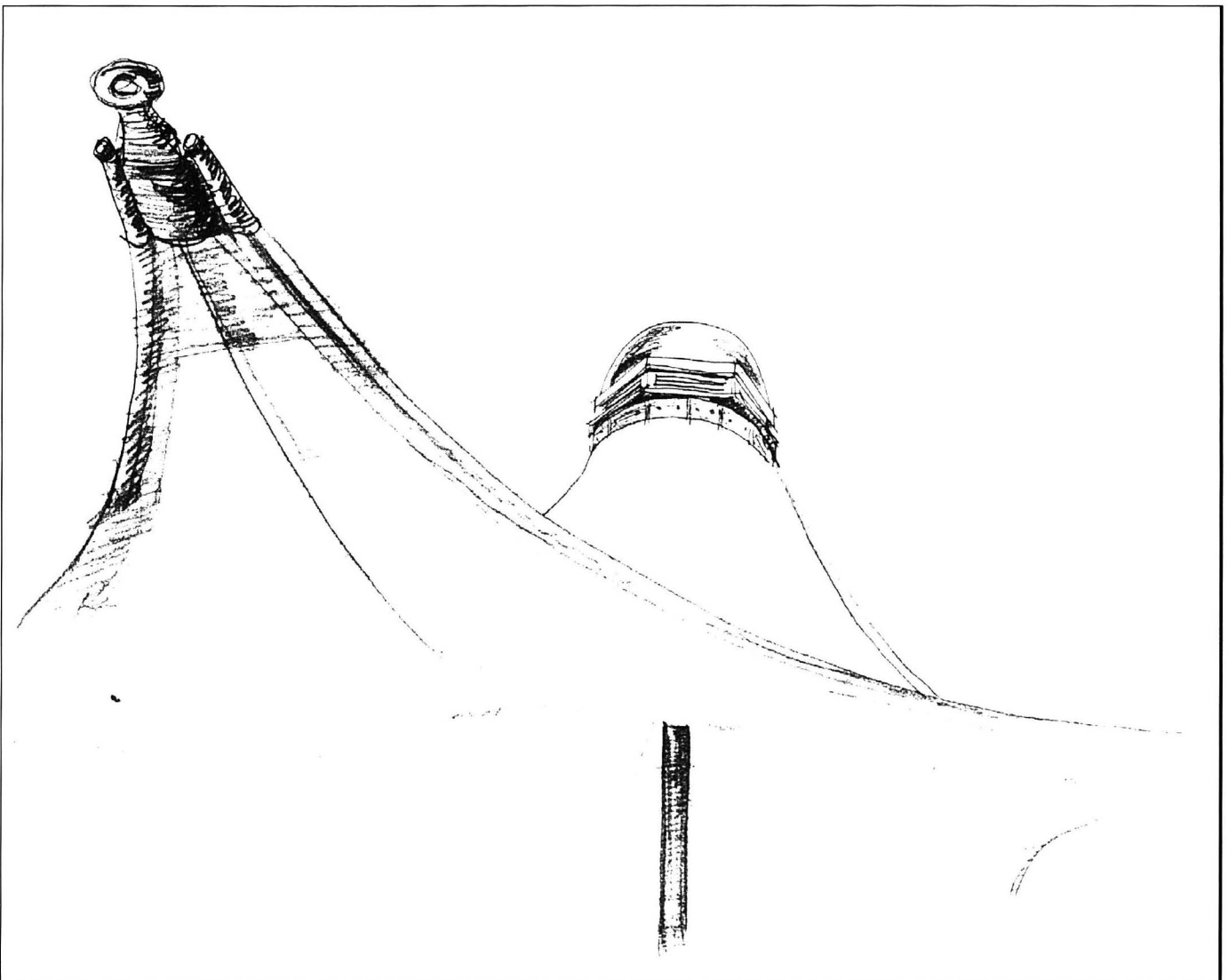


Figura 37:

*Sujeción de la cubierta mediante sombrerete.*

f. Anclajes profundos, en general metálicos o intubados.

**9. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DE ESTRUCTURA TENSADA.**

Las estructuras tensadas son en principio construcciones de peso mínimo que implican que el máximo de sus elementos están en tracción y por tanto podrían levantarse con óptimo costo. Realmente no es así en todos los casos y hay que tener en cuenta muchos factores para sacarles el máximo partido. Intentamos establecer algunos de ellos.

**DEFINICION DE LA GEOMETRIA:** En el apartado 4 hemos establecido algunos métodos para la obtención de formas de un modo semiautomático. Desde el punto de vista del diseñador, este riesgo de perder el control del resultado es alarmante y es frecuente que el arquitecto utilice geometrías de formulación analítica sencilla como garantía del control del conjunto. Estructuras como las de las figu-

ras 1, 19, 20, 43, 45 se obtienen a partir de paraboloides hiperbólicos. Estructuras como las de las figuras 7, 8, 17, 18 y 22 se obtienen a partir de toros o hiperboloides de revolución. La elección de estas geometrías tiene la indudable ventaja del conocimiento a priori de la topología. Con formas menos controladas, se pueden obtener sin embargo resultados magníficos y los restantes ejemplos que se aportan dan fe de ello. Pero no olvidemos que son estructuras seleccionadas. En muchos casos se producen superficies fragmentadas y con poca fortuna.

**ELECCION DEL SISTEMA DE ELEMENTOS:** La elección entre una red de cables y una superficie textil continua dependerá de la vida prevista para la construcción del presupuesto disponible, de los criterios de seguridad y del aspecto a conseguir. Las redes de cables se suponen estructuras mucho más estables, rígidas y duraderas y en contrapartida son más caras, difíciles de construir y limitadas en sus posibilidades formales. Las textiles son más versátiles, de gran sencillez de montaje, de fácil reparación y bastante más económicas, tienen además

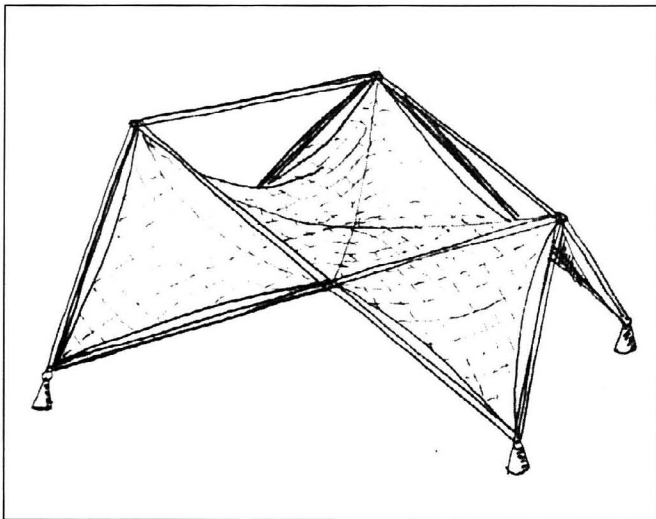


Figura 38.

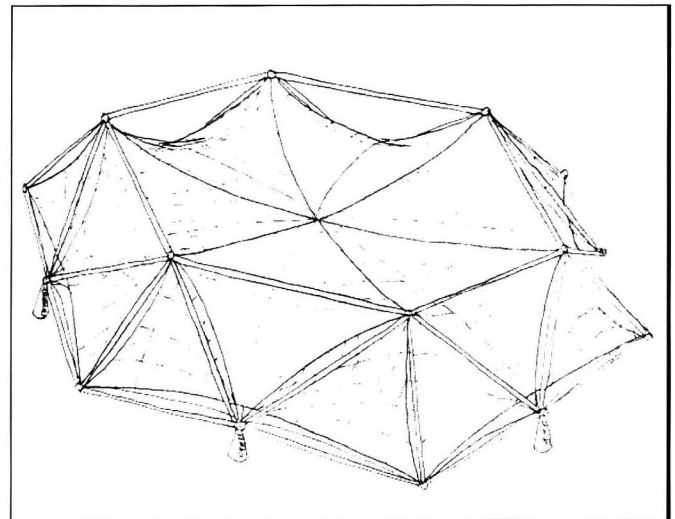


Figura 39.

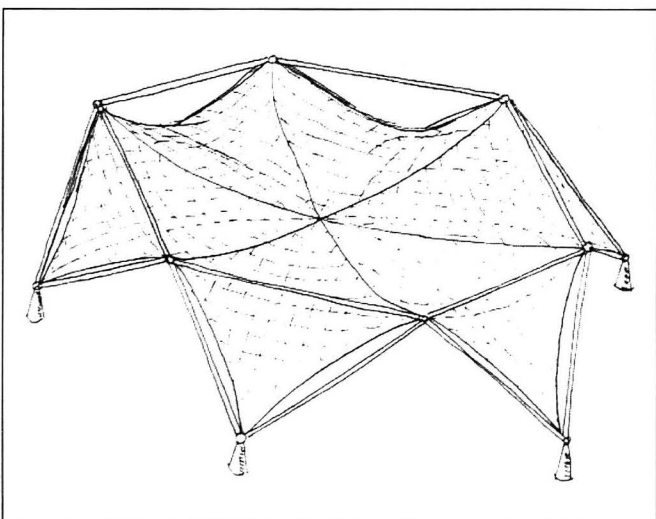


Figura 40.

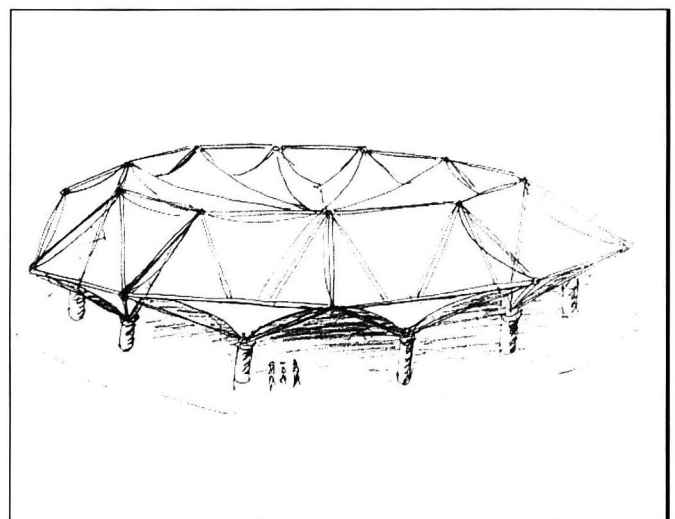


Figura 41:  
*Sea World. San Diego. California.*



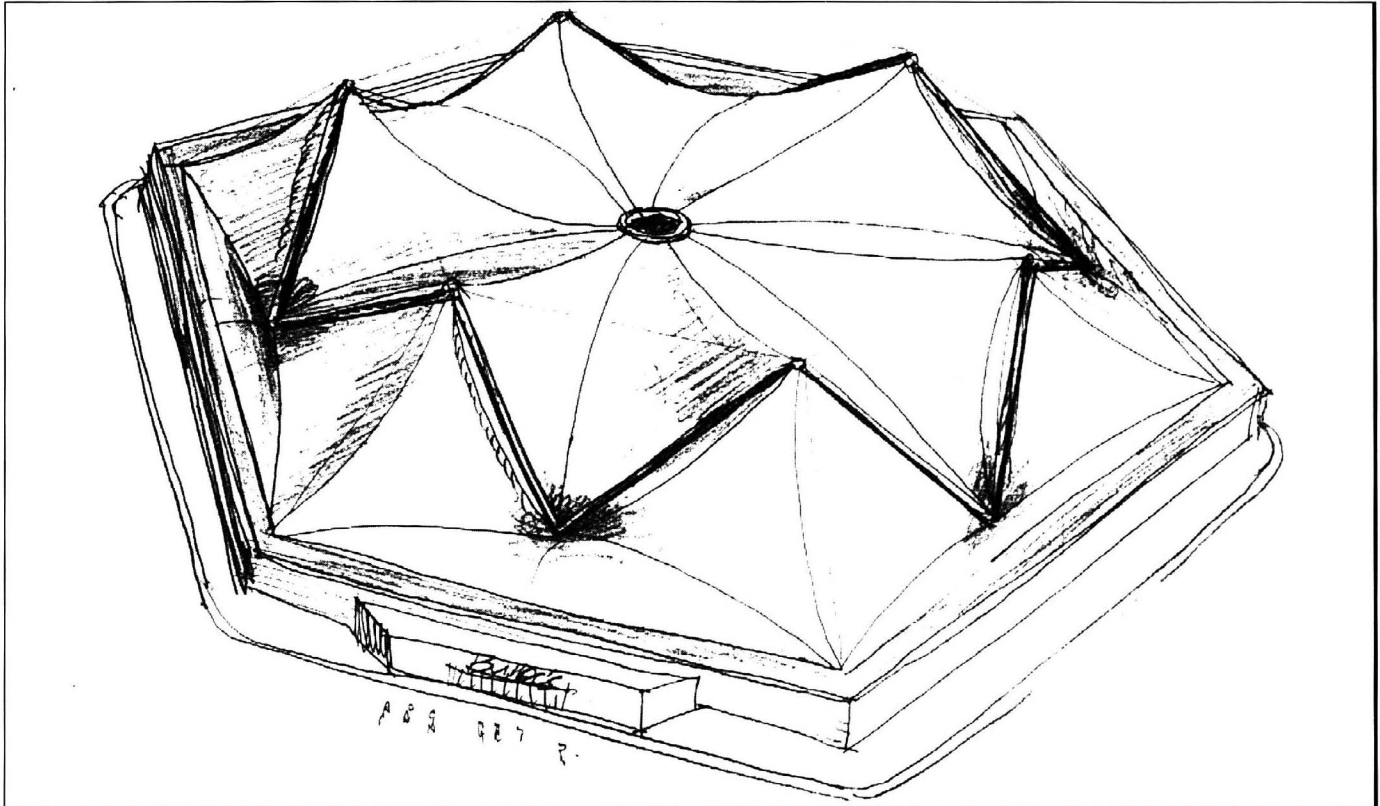


Figura 42:  
*Tienda Bulloc's. San Mateo. California.*

más posibilidades de colocación y diseño. La combinación de ambos tipos se ha utilizado en ocasiones aunque significa más bien una suma de sus respectivos inconvenientes.

**ELECCION DE LOS MATERIALES:** El apartado 3 tiene información que nos permite decidirnos por distintas opciones. Sin embargo hay que considerar cuestiones adicionales que pueden hacer que, incluso los mejores materiales sean los menos adecuados. Así, las fibras de vidrio recubiertas con teflón o silicona pueden resultar inconvenientes contra el fuego, a pesar de ser incombustibles, puesto

que no provocan agujeros por donde puedan escapar humos tóxicos. Igualmente son muy rígidas y difíciles de reparar.

**DISPOSICIONES ESTRUCTURALES:** Hay que evitar luces excesivas que puedan provocar grandes tracciones en cimentación, porque requieren fuertes pretensados. Hay que tener en cuenta que las cargas deben llegar a la cimentación mediante el mínimo recorrido posible, por el camino más corto. Hay que evitar disposiciones que precisen de elementos complementarios complejos y que enmascaren las superficies simples a que da lugar este ti-

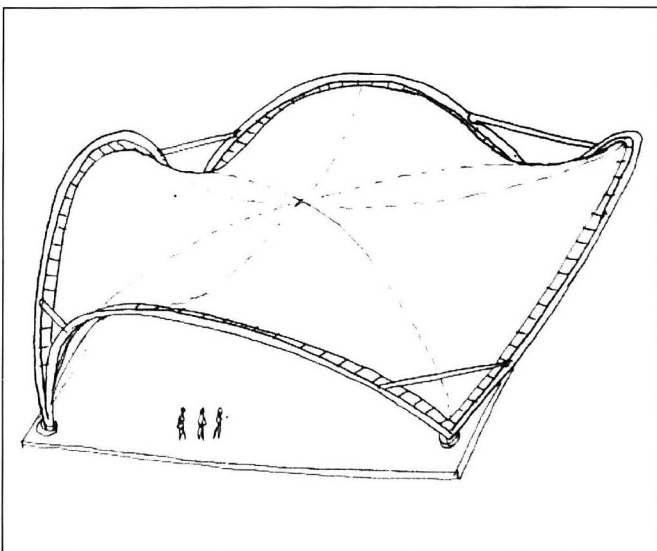


Figura 43:  
*Tensada delimitada por cuatro parábolas.*

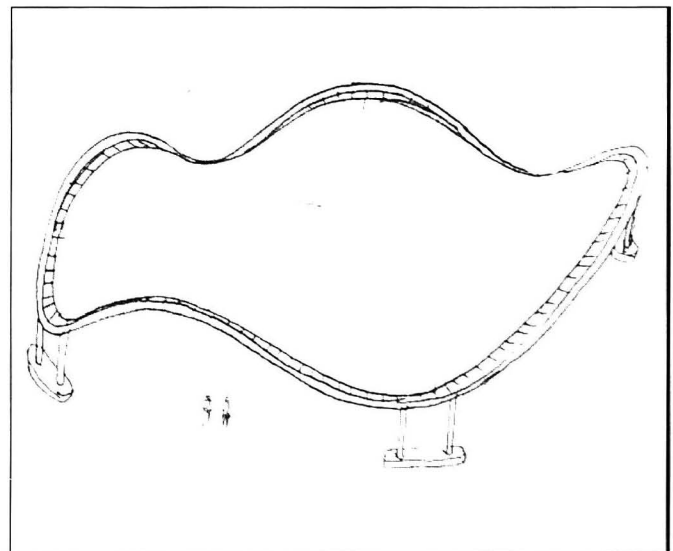


Figura 44:  
*Tensada delimitada por una sólo curva alabeada.*

po de estructuras. Hay que intentar evitar depresiones que signifiquen acumulación de sobrecargas, sobretudo de nieve o de lluvia. Hay que evitar que el fallo de elementos aislados no implique la ruina del conjunto. Para ello es conveniente utilizar sistemas complementarios de rigidización. Las estructuras deben admitir retensados periódicos.

**DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS:** Las aguas deben escurrir fácilmente. Todos los puntos de la superficie deben ser accesibles para la limpieza. En caso de catástrofe parcial hay que evitar que se desplomen elementos peligrosos sobre el recinto. Hay que evitar que elementos punzantes o duros toquen la superficie textil. Hay que separar esta de focos de calor y también del contacto con los usuarios. En zonas climatológicas en donde sean de temer gra-

nizadas de gran diámetro hay que tomar precauciones especiales. En los casos en que se precise un control ambiental pueden usarse superficies de doble capa que aportan un buen aislamiento.

## 10. PLIEGO MINIMO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARTICULARES.

Muchas de las partidas que conforman una estructura tensada son comunes a otro tipo de edificación y por tanto no vamos a incidir en las recomendaciones o exigencias que para su construcción aportamos. No tratamos por tanto cimentaciones, perfiles metálicos ni estructuras de hormigón. Los apartados que vamos a incluir, además de otros

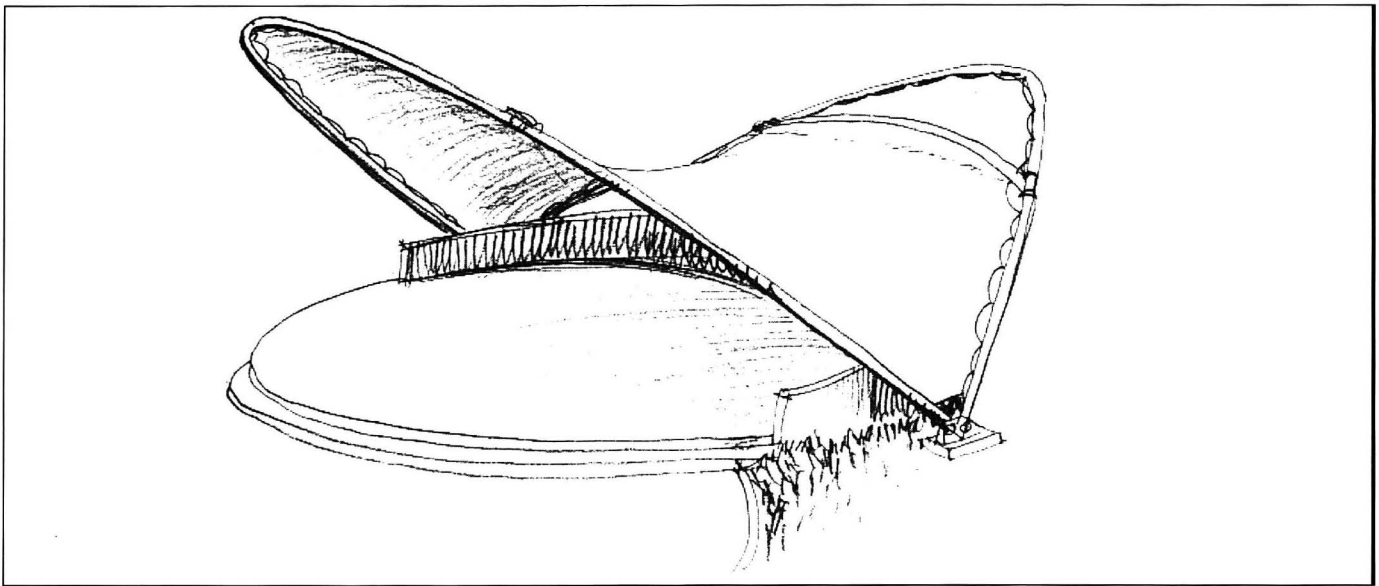


Figura 45:  
*Pabellón de música eb Essen (RFA).*

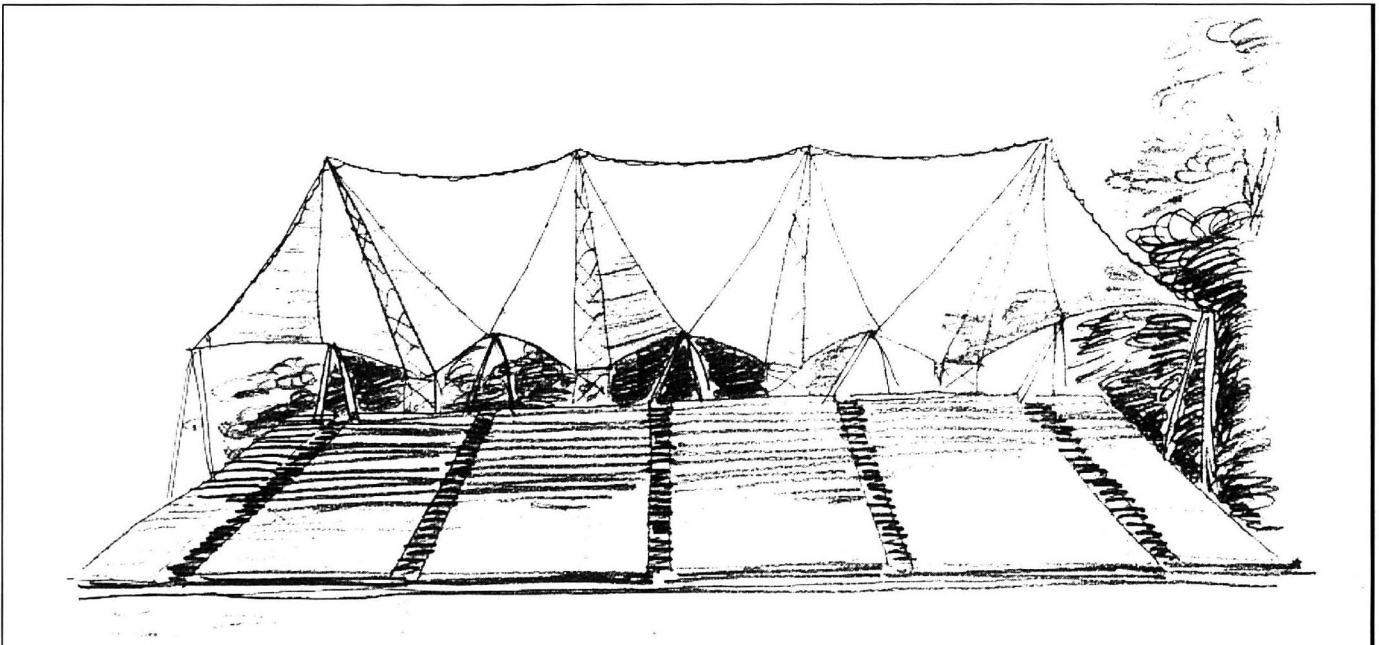


Figura 46:  
*Cyprus Garden. Florida.*



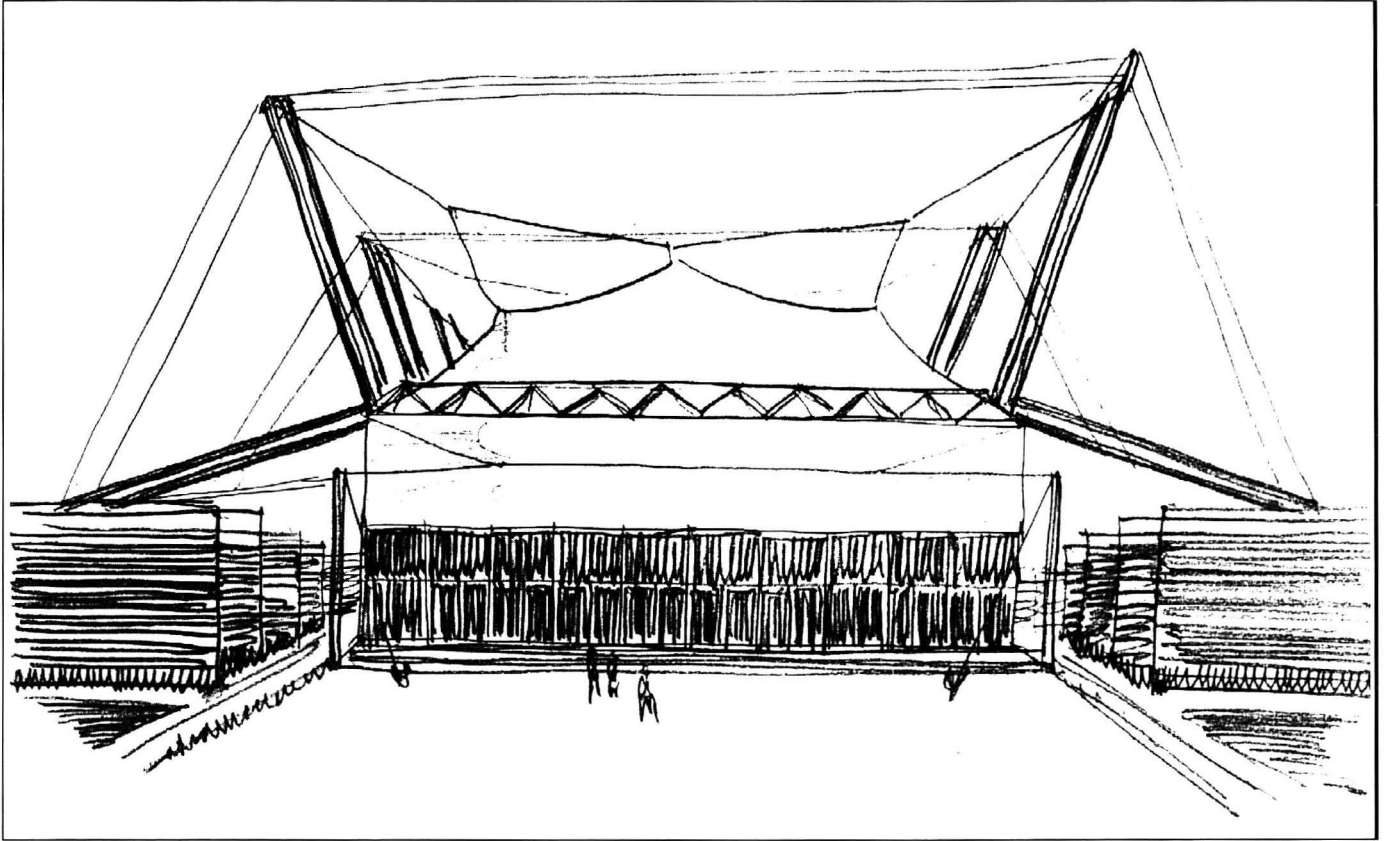


Figura 47:  
*Schlumberger Cambrigde Pescarch Centre.*

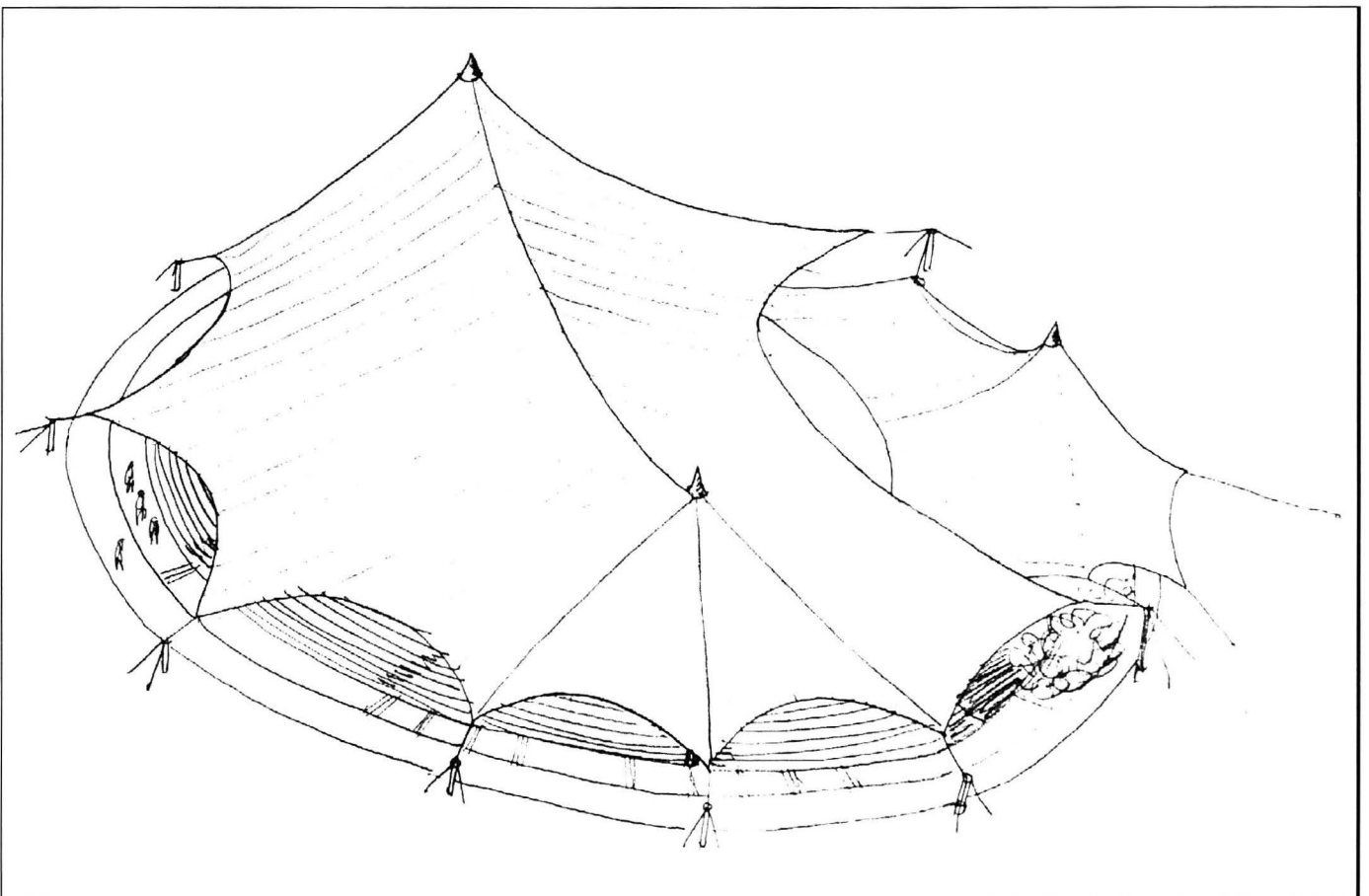


Figura 48:  
*Proyecto de auditorio en Alcobendas. Madrid.*

más específicos, según el tipo de estructura utilizada serán:

**CABLES Y TENSORES:**

- a. El cable ha de estar torcido uniformemente.
- b. La longitud de torsión del cable en condición nueva no debe modificarse en toda su longitud.
- c. La fuerza de rotura no será inferior a la especificada en la norma para el diámetro correspondiente.
- d. Todos los cables de alambre han de estar asegurados en los extremos contra destorceduras.
- e. El suministro de los cables será en rollos, teniendo presentes las siguientes precauciones:
  - Empezar a desenrollar por el exterior, nunca por el interior.
  - Se evitará el destorcimiento del cable y la formación de cocas.
  - Antes de cortar el cable se harán las ligaduras oportunas para evitar que se deshagan los extremos.
- f. El cable, antes de su montaje en la obra será tensado al 80% de su resistencia nominal.
- g. Los tensores serán de acero galvanizado o inoxidable, de tipo cerrado y accionamiento por rosca que seguirán las prescripciones a los tornillos de alta resistencia, recogidos en la Norma MV-107.
- h. El anclaje de los cables se realizará mediante **mazarotas** con el siguiente proceso de ejecución:
  - Deshacer todos los cordones.
  - Limpiar el alma y todos los alambres.

- Lavar con ClH al 50% el conjunto del anclaje.
- Introducir en una solución de ClZn y posteriormente en un baño de Sn fundido.
- Colocar el conjunto en el molde y verter una mezcla fundida de Sn (66%) y Pb (17%), Sb (12%) y Cu (5%).
- La longitud de fundido debe ser como mínimo de 5Ø y la angulación del manguito de 1,6 a 1,10.
- i. Cuando el anclaje no se lleve a cabo por el procedimiento anterior se emplearán guardacabos y mordazas, prohibiéndose específicamente los nudos incluso para enlaces provisionales.
- j. Las grapas se dispondrán a una distancia del doble del diámetro para guardacabos circulares e inmediato a este si es ovoidal. En cualquier caso, la separación entre grapas consecutivas, será como mínimo el ancho de la mordaza disponiéndose siempre en número superior a dos con las horquillas sobre el extremo del cable sin tensión.
- k. Los cables se anclarán a los soportes mediante piezas especiales de acero conformadas con la mazarota de tal manera que se fijen al anclaje con la interposición de un vástago con sistema de fijación incorporado.
- l. Se tensarán los cables disponiendo tensores entre los puntos de anclaje y los extremos de los cables en los que se ha realizado el acoplamiento fundido.
- ll. Una vez realizado el montaje, el conjunto deberá ser estable, perfectamente anclado a la cimentación, con las piezas de anclaje de los cables dispues-

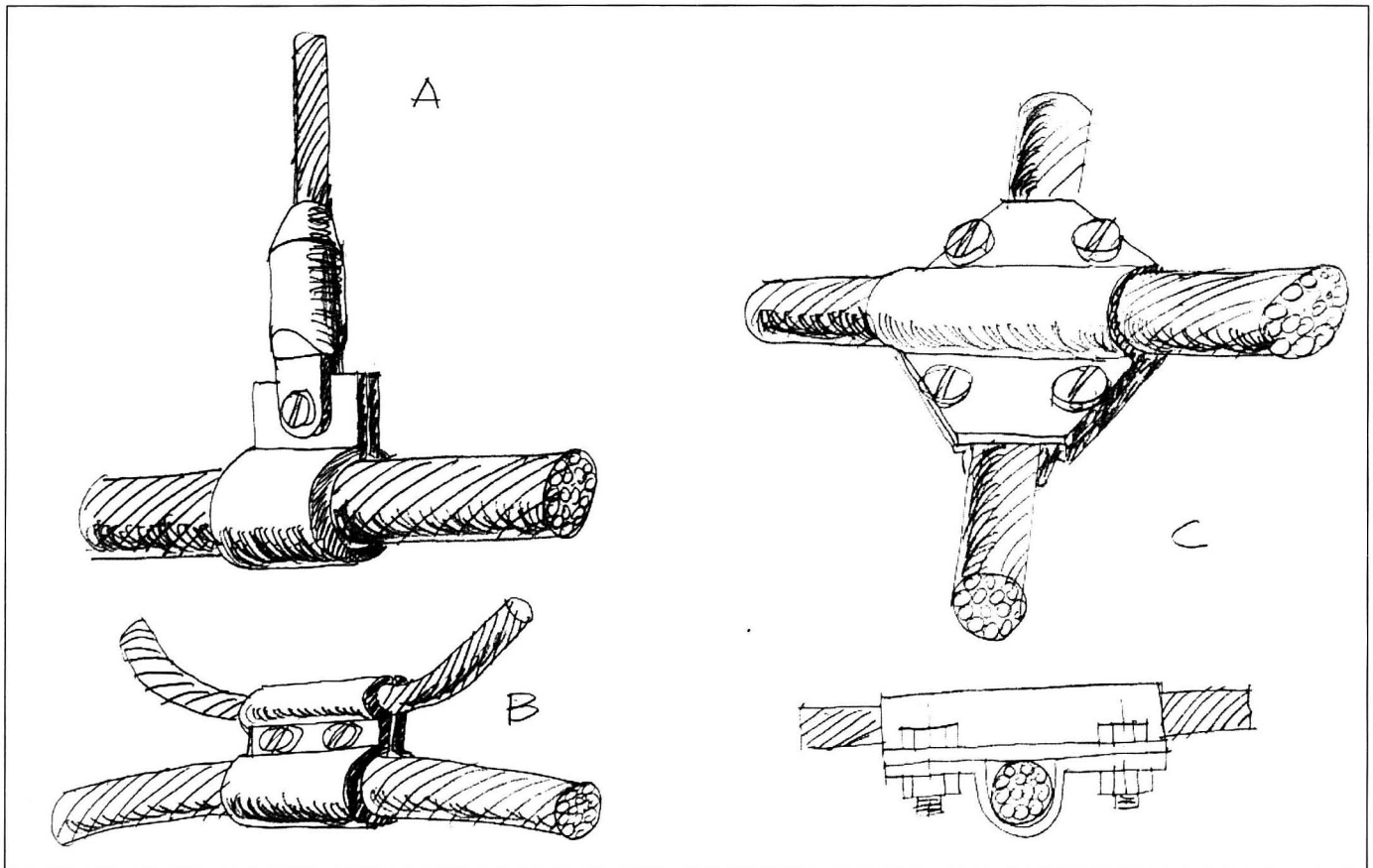


Figura 49:  
Sistemas de conexión de cables.



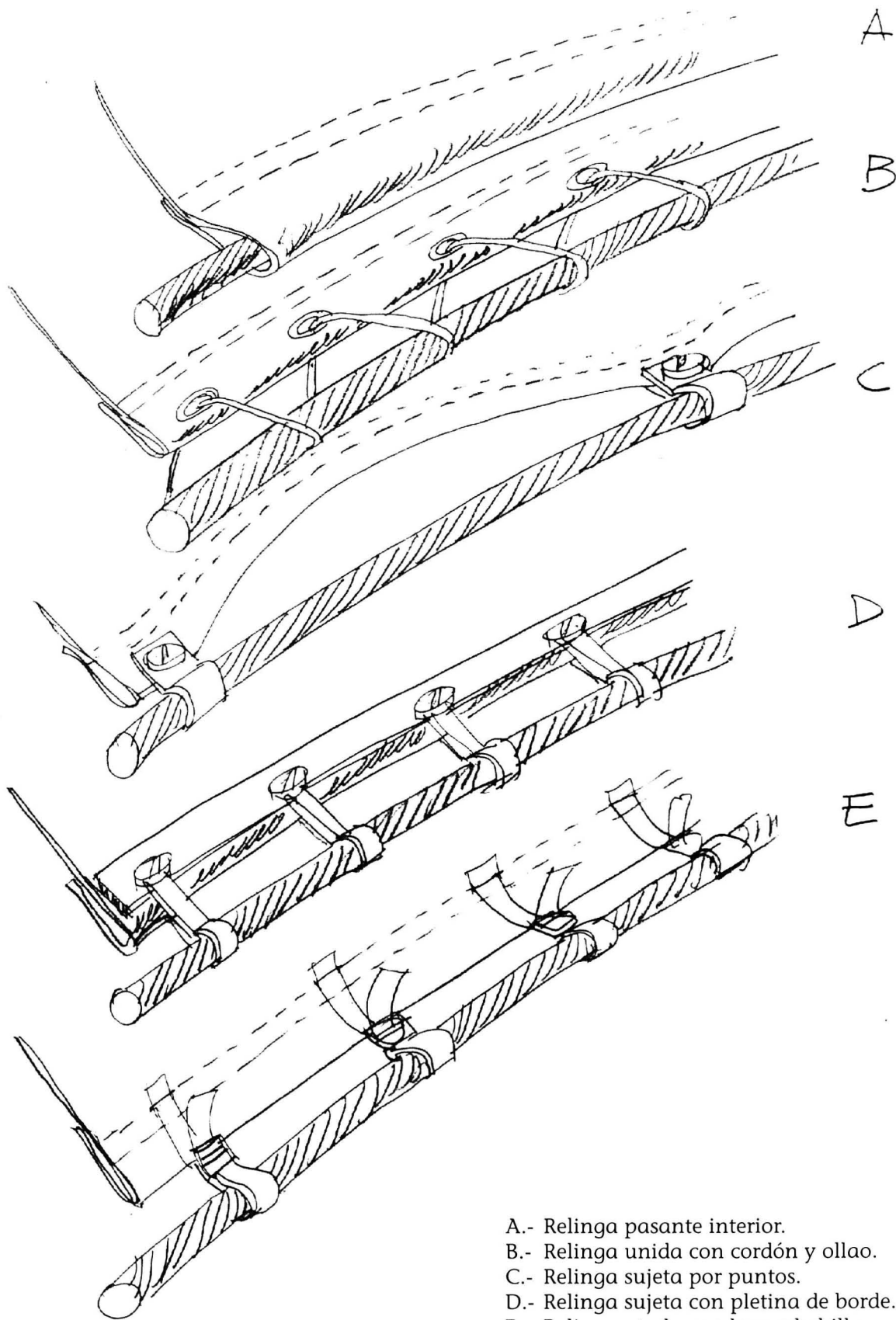
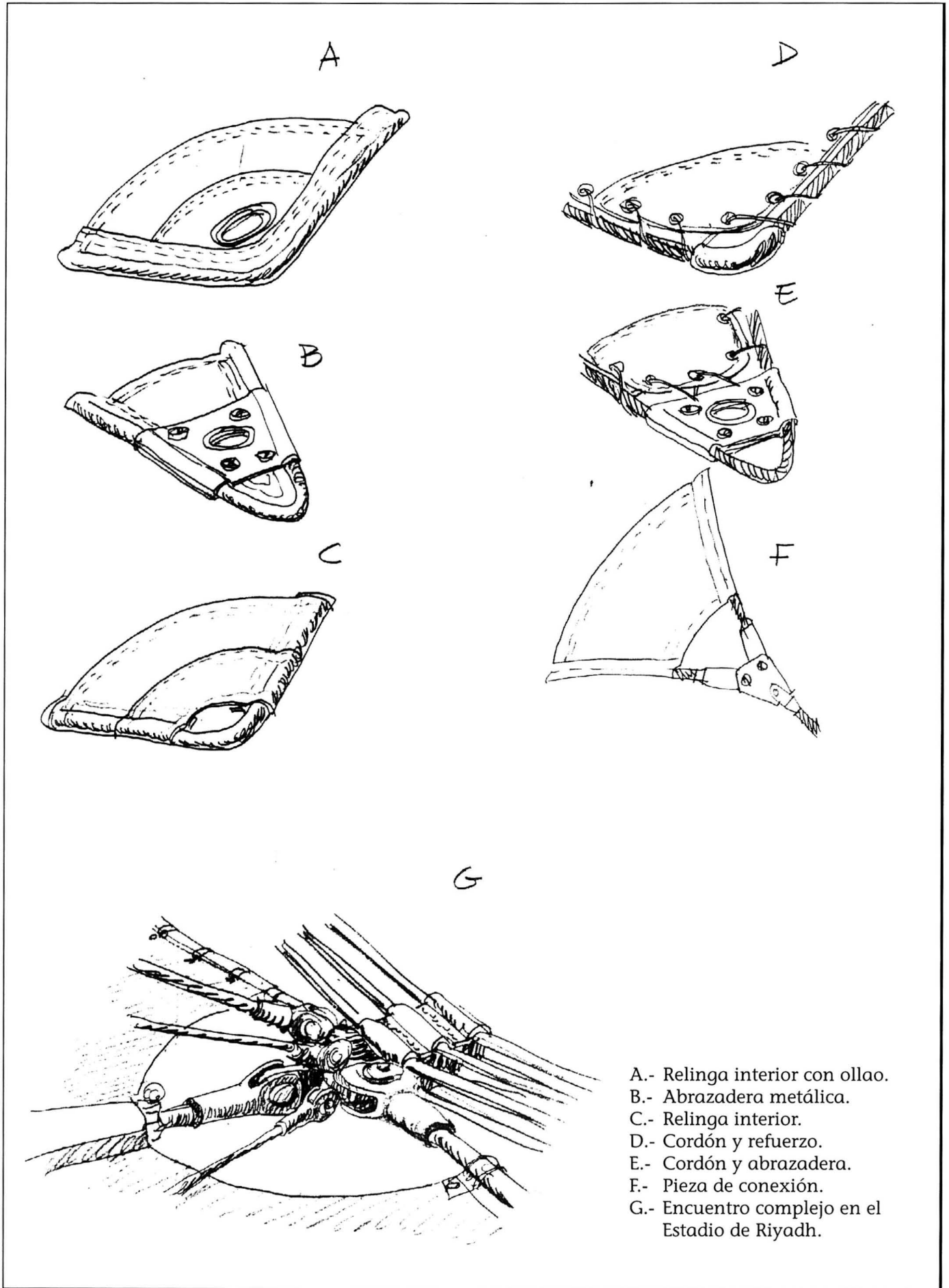


Figura 50:  
Sujeción del textil a la relinga.



- A.- Relinga interior con ollao.
- B.- Abrazadera metálica.
- C.- Relinga interior.
- D.- Cordón y refuerzo.
- E.- Cordón y abrazadera.
- F.- Pieza de conexión.
- G.- Encuentro complejo en el Estadio de Riyadh.

Figura 51:  
Puños.



tos para su utilización y con todos los elementos adecuadamente protegidos contra la corrosión.

m. La comprobación dimensional de la estructura atenderá a los siguientes valores:

- posición..... $\pm 0,1\% L$
- verticalidad..... $\pm 0,1\% H (>\pm 20\text{mm})$
- nivelación..... $\pm 0,05\% L (>\pm 15 \text{ mm})$
- flecha ..... $\pm 1/1000 (>\pm 10 \text{ mm})$

n. Los cables utilizados deberán revisarse a los 3, 6, 12 meses posteriores a su montaje, sometiendo cada vez a todo el conjunto a un retensado de ajuste con el fin de absorber el alargamiento de asentamiento.

Será necesario un retensado, o al menos una comprobación general del estado de retensión de la estructura, después de haberse producido circunstancias de viento o lluvia extraordinarias. Al mismo tiempo se comprobará el estado de los anclajes, enlaces, tensores, etc. No debiendo apreciarse ningún síntoma de deslizamiento, bulbo o aflojamiento de hilos.

**MEMBRANAS:**

a. Se realizará utilizando tejidos a base de (especificar los materiales de las fibras). Estará revestido por las dos caras con (especificar los materiales de recubrimiento) y cargas de ignifugado para ser clasificado el conjunto como M2. La adherencia del revestimiento será superior a 1,5 kg/cm. y la resistencia al desgarrar del conjunto será superior a 70 kilogramos. en cualquier dirección de la trama o de la urdimbre.

b. La resistencia a la tracción (DIN 53354) en cualquier dirección será superior a 500 kg/5 cm. no per-

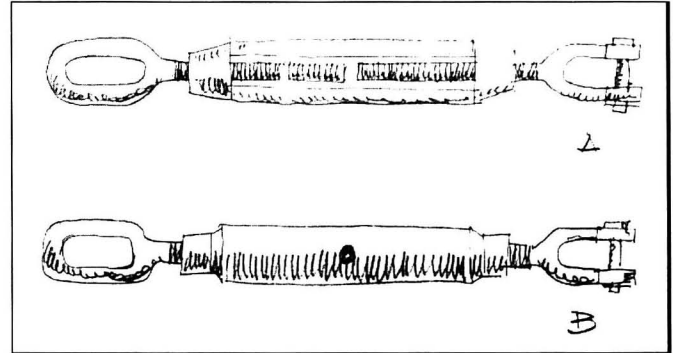


Figura 52:  
*Tensor de horquilla y tubular.*

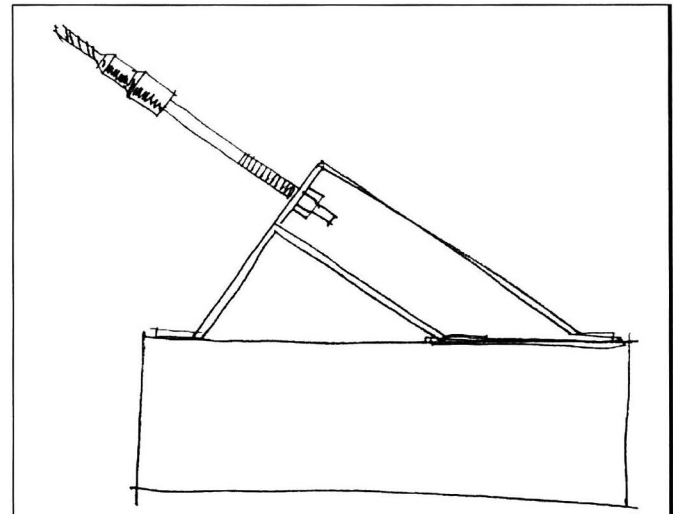


Figura 53:  
*Tensor ligado a una zapata.*

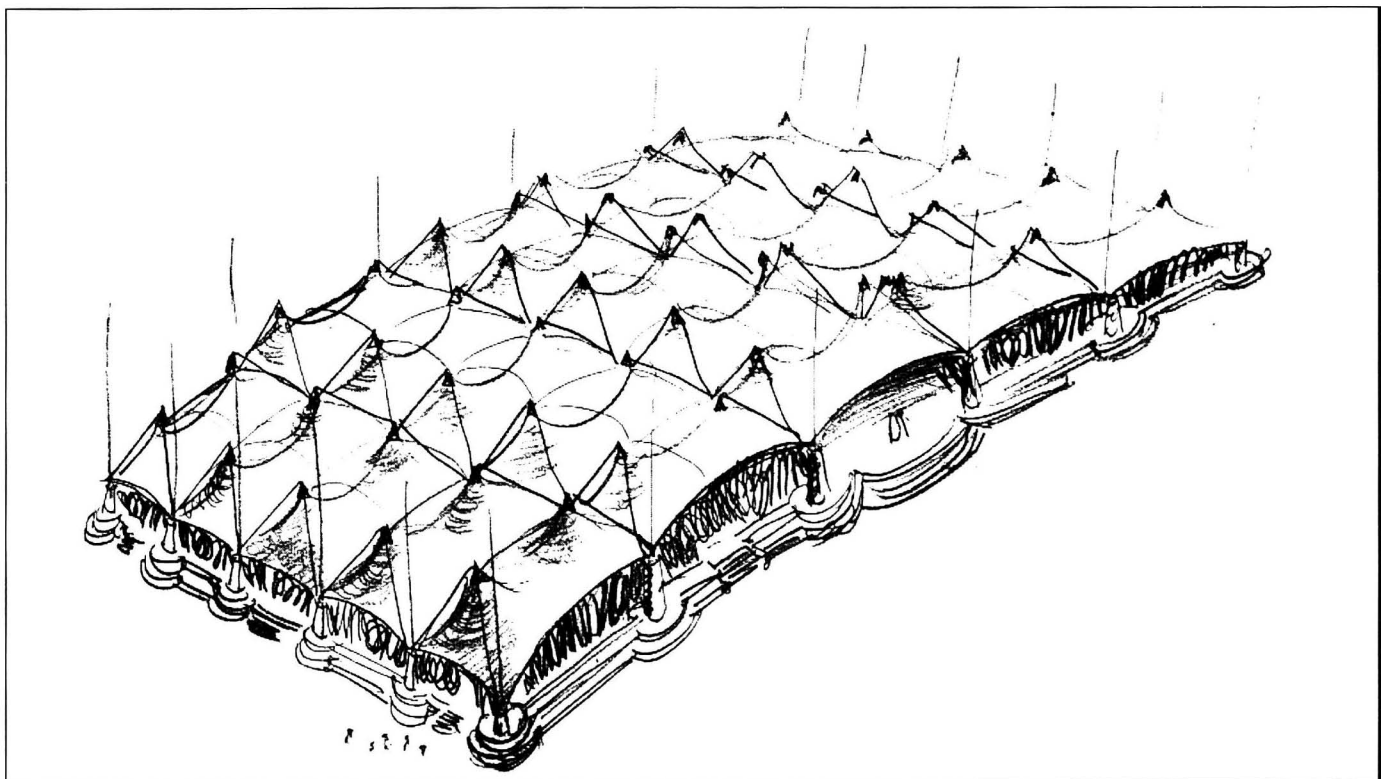


Figura 54:  
*Palenque Expo'92. Sevilla.*

mitiendo el paso del agua bajo presión de 1MPa.

c. Las características se mantendrán tanto del paño como de las juntas al menos durante una hora sometido a 70°.

d. Deberá presentar una apariencia agradable, libre de manchas y de defectos que puedan provocar la acumulación de agua o el deterioro del tejido o de la estructura soporte.

e. Las uniones, ya sean entre paños o a la estructura, se habrán de realizar de tal manera que las tensiones se transmitan uniformemente al tejido, minimizándose la concentración de tensiones. En todo caso el coeficiente de seguridad en la transmisión de esfuerzos del conjunto será siempre superior a 4.

f. Todos los elementos y materiales utilizados en la ejecución de la estructura, estarán garantizados por el fabricante de acuerdo con las especificaciones anteriores.

g. Uniones en la membrana.

Las juntas de solapado entre patrones de corte serán del tipo "inseparables" realizadas mediante soldadura por calor, utilizando rodillos de acero o mediante radiaciones de alta frecuencia. El ancho de solape será siempre superior a 20 mm y se protegerá la unión con una faja sobrepuesta doble.

h. El almacenaje de la membrana o de los paños deberá llevarse a efecto en un recinto cerrado, bien ventilado y protegido de la humedad del suelo y del ambiente.

i. El transporte se efectuará en paquetes bien protegidos y con indicación de cómo se ha efectuado el plegado para que el desplegado pueda hacerse en la posición definitiva.

j. Es necesario retensar las lonas empleadas al mes, seis y doce meses después de su puesta en tensión y concretamente después de que se hayan producido condiciones atmosféricas climatológicas excepcionales.

Después de cada retensado se comprobará el estado del tejido verificando que el recubrimiento mantiene un buen estado general, sin manchas, grietas, fisuras, desprendimientos o bolsas. Se comprobará que no existen deformaciones no previstas que puedan informarnos de la presencia de acumulación de tensiones no deseadas en cuyo caso se reforzará o sustituirán por personal especializado.

Las costuras no deben presentar roturas en los hilos, corrimientos o deshilachaduras así como otros síntomas de deterioro.

k. Cualquier manipulación, reparación o sustitución debe ser consultada a especialistas.

l. No se permitirá la fijación en la membrana de elementos de cualquier tipo ( por ejemplo de luminarias). Las instalaciones, construcciones y demás elementos rígidos habrán de ser situadas a una distancia mínima de 60 centímetros de ésta. Se exceptúan aquellos elementos que explícitamente sean autorizados por la firma suministradora o la Dirección Facultativa.

## 11. CARACTERISTICAS DE ALGUNOS PROYECTOS IMPORTANTES RECIENTES.

**TERMINAL HAJ. Aeropuerto Internacional de Jedah.. Arabia Saudí. 1981 (figura 8).**

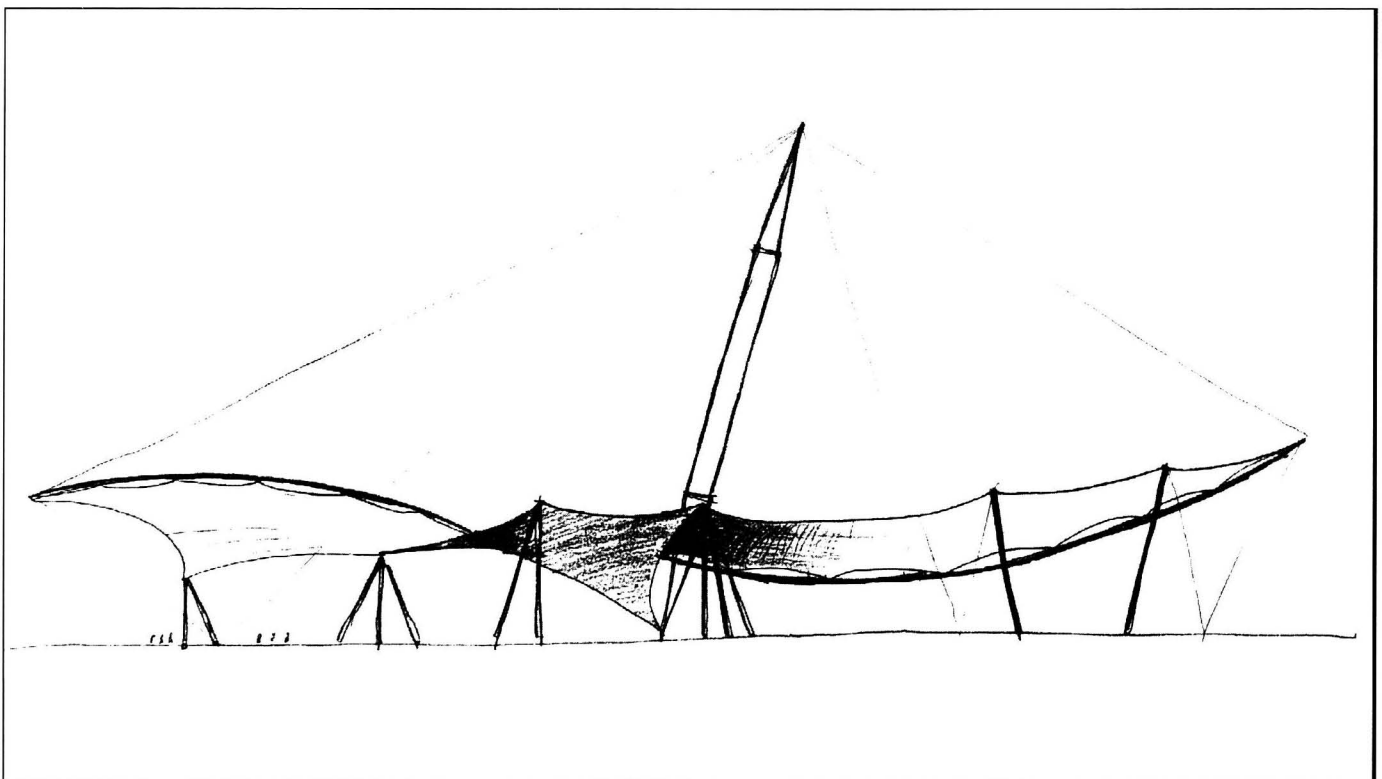


Figura 55:

*Expo'92. Entrada de la Barqueta. Sevilla.*



El proyecto es del estudio SOM (Skidmore, Owings & Merrill) y el asesoramiento estructural de Geiger- Berger Associates. El conjunto está formado por 210 carpas de base cuadrada de 45x45 m<sup>2</sup> en 10 grupos de 21 de ellos.

Los materiales utilizados son soportes troncocónicos de acero y cubierta de fibra de vidrio recubierta con teflón reforzada en los bordes con cables.

**TERMINAL DE RIYADOH.** Arabia Saudí. 1985 (figura 9).

El diseño de la cubierta es de Host Berger y está formado por 24 cuñas sujetas a un mástil de acero de 60 metros de altura cubriendo 50.000 m<sup>2</sup> y 60.000 espectadores en un diámetro de 285 m.

El material de cubierta es de fibra de vidrio recubierta con teflón.

**CUBIERTAS DE LA EXPO-88.** Brisbane. Australia (figura 10).

Están formadas por 5 sectores semicirculares de 120 metros de diámetro sobre 5 mástiles en celosía de 50 metros de altura, cubriendo un total de 40.000 m<sup>2</sup>. El diseño es del ingeniero Harold Muhelberger. El material de cubierta es Poliester recubierto con PVC y se consiguió un coste de 12.000 pesetas/m<sup>2</sup>.

**PALENQUE DE LA EXPO-92.** Sevilla. 1990 (figura 17).

El proyecto es de J.M. de la Prada y el asesoramiento de la estructura de cubierta de Harold Muhelberger.

Está formado por 25 módulos de 13x25 m<sup>2</sup> con dos puntos altos. El material es Poliester recubierto

con fibra de vidrio.

El objeto del proyecto es crear una plaza de reposo y espectáculo en el seno del recinto de la EXPO.

**PUERTA DE LA BARQUETA.** EXPO-92. Sevilla. (figura 54).

El proyecto es de Harold Muhelberger.

La entrada consiste en dos cubiertas articuladas en una línea central con curvatura invertida estabilizada mediante cables. Esta línea central la forman dos arcos, uno con abertura hacia arriba y el otro hacia abajo, dando la sensación de oleada que es como se la conoce.

El conjunto cuelga de dos mástiles en celosía que arrancan de un punto.

La estructura cubre 6.200 m<sup>2</sup> y tiene 135 metros de longitud por 70 de ancho. La altura de los mástiles es de 55 metros y el presupuesto tiene una repercusión de 20.000 pts./m<sup>2</sup>.

## BIBLIOGRAFIA BASICA.

OTTO, Frei: *Design, Structure and Calculation of Buildings of Cables, Nets and Membranes.* Mit Press, 1962 y 1966.

KRISMINA: *Cable Suspended Roofs.* McGraw Hill, 1978.

IRVINE, Max: *Cable Structures.* Mit Press, 1981.

IASS: *Recommendations for Air-Supported Structures.* IASS, 1985.

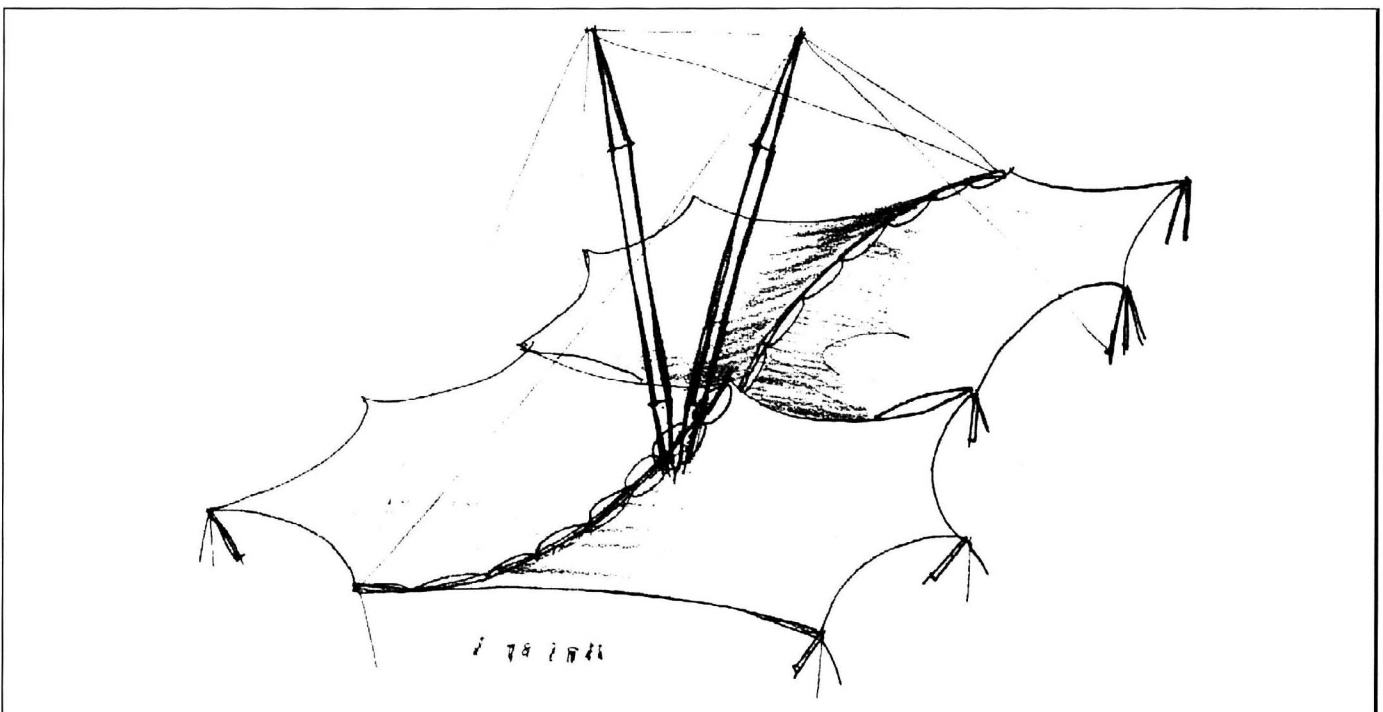


Figura 56:  
Expo'92. Entrada de la Barqueta. Sevilla.



LSA-86: *The first International Conference Lightweigt Structures in Architecture Proceedings*. The University of New South Wales, 1986.

LEONARD, J.W.: *Tension Structures*. McGraw Hill, 1988.

GEIGER & BERGER: *Building Structures Handbook*. J. Wiley, Ed. Richard N. White, 1988.

MONJO,J.: *La Arquitectura Textil*. Informes de la construcción nº 367, Enero-Febrero 1985.

ROLAND, C.: *Frei-Otto. Estructuras*. Gustavo Gili, Barcelona.

### NOTA.

Fé de erratas de la parte publicada en el nº 6:  
Página 50: Donde pone 1596, debe poner 15%.  
" " 9096, " " 90%  
" " 1696, " " 16%  
" " 7096, " " 70%