

MEMBRANAS (1)

J. SCHLAICH (*)
R. BERGERMANN (*)
W. SOBEK (*)

RESUMEN. Se presenta en la primera parte de este trabajo información sobre los materiales usados en la fabricación de membranas para cubiertas, así como los diferentes sistemas de unión entre ellas. En la segunda parte se describen algunas de las obras más recientes del autor en el campo de las membranas, prestando especial atención a aquellos aspectos más innovadores.

ABSTRACT. *The first part of this work provides information about the material used in the manufacture of membranes for roofs, together with the different systems for joining them up. The second part describes some of the most recent work by the author in the membrane field, giving special attention to the most innovative aspects.*

1. INTRODUCCION

Por definición una estructura de membrana desarrolla solamente fuerzas en su plano, sin o con insignificantes momentos flectores. Si son posibles tracciones y compresiones se llaman láminas. Si son eliminadas las compresiones se llaman membranas. Su finalidad es formar una superficie con un material que es capaz de resistir solamente tracciones para conseguir una gran ligereza y a veces una superficie translúcida.

Con el fin de eliminar las compresiones, las membranas deben ser pretensadas, lo cual significa que deben ser sometidas a unas tensiones iniciales, de tal forma que, incluso después de ser sometidas a otras cargas (carga muerta, viento, nieve, etc.), la estructura permanezca estable, figura 1. Si excluimos una carga previa con masa o peso, como ocurre en las cubiertas colgadas, quedan dos métodos básicos para aplicar la tensión previa necesaria: tensión mecánica aplicada en su borde y presión neumática. La primera produce superficies de curvatura de Gauss negativa o formas «de silla de montar» y la segunda superficies con curvatura de Gauss positiva o cúpulas. Por supuesto la exclusión de compresiones afecta solamente a la membrana misma, la estructura portante incluye necesariamente compresiones, bien sea en forma de mástiles o anillos de compresión, etcétera.

De aquí se sigue que el arte de diseñar tal tipo de membranas consiste en encontrar, en cada caso, un compromiso razonable entre la tentación de hacer un uso libre de las formas que permite este tipo de estructuras y el hecho de que estas formas libres han de ser

soportadas con un soporte costoso. El óptimo es una estructura equilibrada en sí misma, por ejemplo un colchón neumático rodeado por un anillo que actúa puramente a compresión. Otro problema importante de estas estructuras es que su superficie curva, frecuentemente, no cumple con las exigencias funcionales del espacio, ya que deja un volumen que no se usa pero que ha de ser mantenido, calentado y refrigerado. Esto influye negativamente cuando se concibe la forma en su conjunto.

Con respecto al diseño estructural no se puede sino subrayar la interrelación entre el tipo de membrana, su ejecución y su geometría, siendo esta última responsable de su comportamiento estructural, figura 2. De aquí se deduce que el diseñador de membranas ha de escoger entre:

- Red cuadrangular de cables.
- Red triangular de cables.
- Membrana textil (plegable).
- Membrana metálica (no-plegable).

Cualquier red de cables requiere un revestimiento, las membranas textiles y metálicas pueden ser consideradas como un revestimiento capaz de soportar cargas (1).

El profesor Popov en su charla del presente Congreso de Madrid de 1989, ha intentado cubrir completamente el campo de las membranas que incluyen redes de cables.

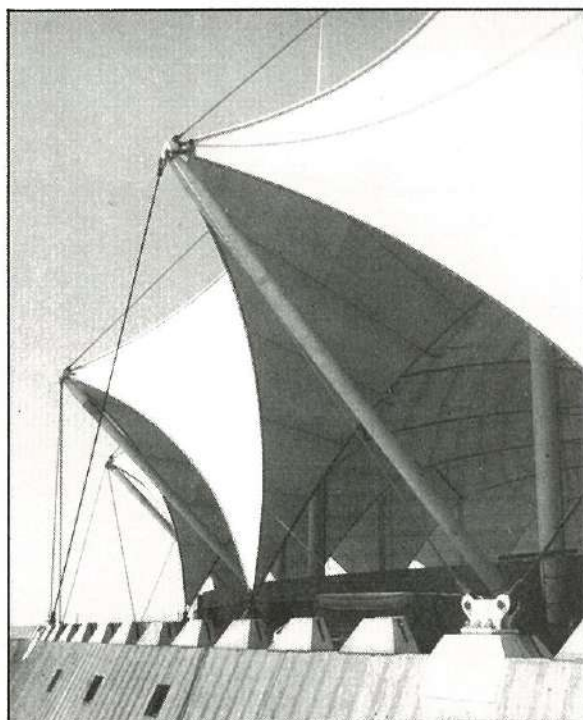
Esta conferencia, por su parte, se limita a algunos ejemplos de estructuras diseñadas por el autor en los últimos años. Antes de empezar con estos ejemplos se da alguna información sobre los materiales textiles usados en las membranas y algunos detalles constructivos.

2. MATERIALES TEXTILES

Generalmente una membrana textil consiste en un tejido recubierto o impregnado con otra sustancia. Algunos

(1) Conferencia invitada en el Congreso de IASS de Madrid, 1989

(*) Universidad de Stuttgart, Ingenieros Consultores de Schlaich, Bergermann y Asociados, Stuttgart.



tipos de materiales no tejidos se usan para aplicaciones especiales.

Hoy existe un gran número de fibras sintéticas y naturales que pueden ser usadas para la fabricación de membranas. Sin embargo, la demanda típica de membranas textiles estructurales y la necesidad de series de pruebas específicas del propio material y de sus detalles constructivos, ha llevado a un número reducido de fibras, figuras 3, 4, 5.

FIGURA 1. Cubierta del Estadio de Riyadh, Arabia Saudita. Vista general y unidad simple de las mismas.

Los tejidos en sí no son impermeables. Además, la mayor parte de las fibras son atacadas por los agentes ambientales, como la radiación solar. Entre otros efectos, estos agentes producen una reducción en la resistencia y la flexibilidad. Los tejidos deben ser por tanto recubiertos o impregnados. Impregnación es el tratamiento más corriente para tejidos a base de algodón o mezclas de algodón y fibras sintéticas. El recubrimiento con PVC es la solución más corriente en tejidos a base de poliéster y aramid, y con PTFE en tejidos de fibra de vidrio.

El recubrimiento debe estar bien unido a las fibras del tejido: por un lado éste es aplicado al tejido a altas temperaturas que las fibras deben ser capaces de soportar y por otro lado, la unión química y mecánica a la fibra influye en la rigidez a cortante del conjunto y con ello también en la capacidad portante de muchos de los detalles constructivos.

La resistencia de una membrana depende de la fibra y de la trama usadas en el tejido. El PVC/poliéster y el PTFE/fibra de vidrio existentes en stock presentan una resistencia de 200 KN/m. (Prueba de resistencia de corta duración a 23°C). Por encargo se pueden conseguir calidades de más de 300 KN/m. Las calidades más resistentes de PVC/aramides pueden alcanzar cifras de 600 KN/m. Sin embargo, a causa de su elevado precio y de la pérdida de transparencia, esta última se usa solamente en casos especiales y son producidas solamente por encargo.

CONSTRUIMOS SOLUCIONES

Obras que identifican nuestra forma de trabajar y califican la larga trayectoria de nuestra empresa.

Construimos grandes realidades que son el fruto de la técnica y la experiencia acumulada a lo largo de los años.

*Así somos y así seguiremos: **construyendo futuro.***





Isidoro Sánchez, S. A.

Viviendo el Futuro



- VENTAS
- ALQUILER
- SERVICIO TECNICO
- SERVICIO TOPOGRAFICO
- CENTRO DE FORMACION
Y ASESORAMIENTO TECNICO
- DIVISION INFORMATICA



Isidoro Sánchez, S. A., Topografía.
Ronda de Atocha, 16 - 28012 MADRID Tel: 467 53 63. Fax: (91) 239 22 16

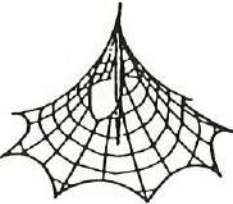
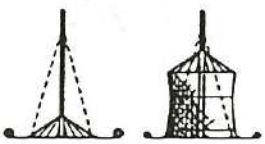
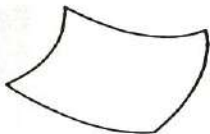
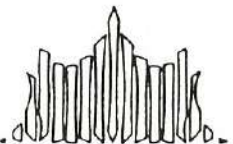
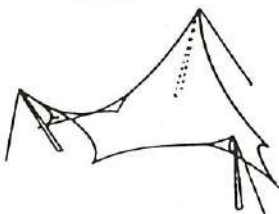
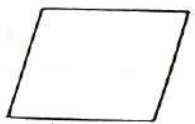
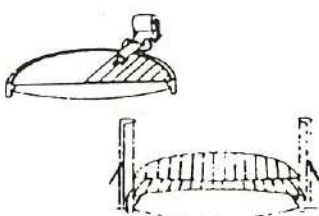
TIPO DE MEMBRANA	MANUFACTURA DE LA SUPERFICIE ESTRUCTURAL	GEOMETRIA Y COMPORTAMIENTO PORTANTE
 RED CUADRANGULAR		 Las fuerzas no pueden seguir el camino directo por la limitada rigidez a cortante.
 RED TRIANGULAR		 Comportamiento perfecto como membrana.
 MEMBRANA TEXTIL		 La rigidez a cortante del tejido y de su revestimiento determina el nivel de su comportamiento como membrana.
 MEMBRANA METALICA DELGADA		 Comportamiento perfecto como membrana.

FIGURA 2. Interdependencia entre tipo de membrana, elaboración, geometría y comportamiento estructural.

3. JUNTAS Y DETALLES DE BORDE MAS USUALES

3.1. JUNTAS

En una membrana textil, las fibras de alta resistencia son los elementos resistentes, unir dos trozos significa crear una conexión capaz de transferir las fuerzas de fibra a fibra.

Tres grupos de juntas pueden distinguirse:

1. Soldadura, especialmente la soldadura de alta frecuencia (HF), es la más utilizada. En las uniones soldadas, la fuerza es transferida de un tejido a otro a través del material de recubrimiento fundido. La resistencia de la misma, sin embargo, viene determinada por la resistencia de recubrimiento y por su adherencia a las fibras.

FIBRAS ESTANDAR PARA TEJIDOS

ALGODON/SINTETICO
POLIESTER
POLIAMIDA
VIDRIO
ARAMID
PTFE

FIGURA 3. Fibras estándar para tejidos.

Hoy las soldaduras HF de alta calidad de membranas de PVC/poliéster llegan a una resistencia del 95 % de la resistencia del propio tejido a la temperatura de 23°C

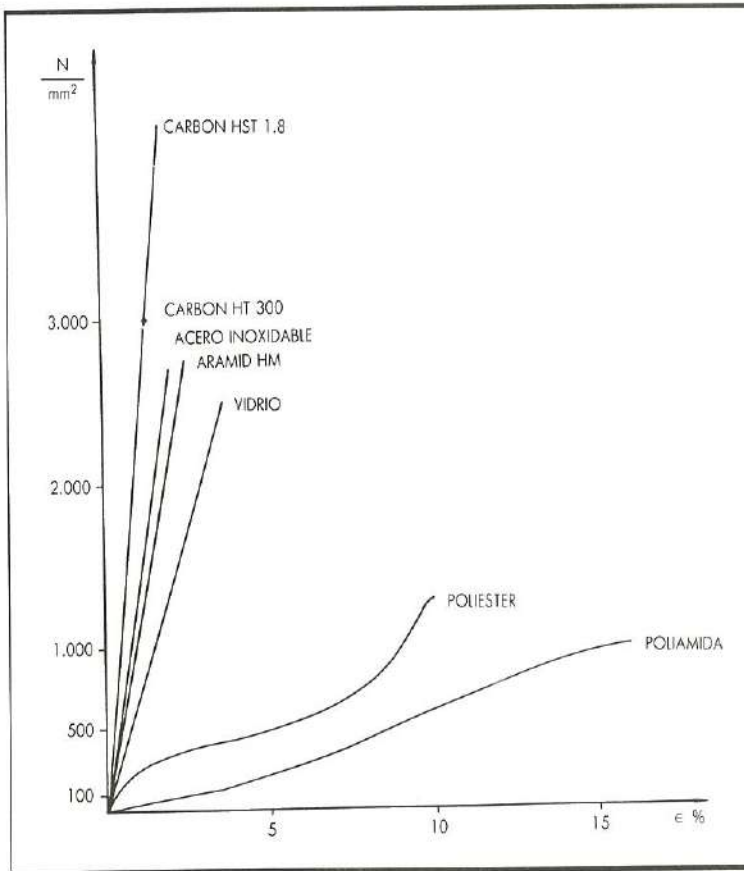


FIGURA 4. Comportamiento tensión-deformación de fibras standard. Cargas de corta duración.

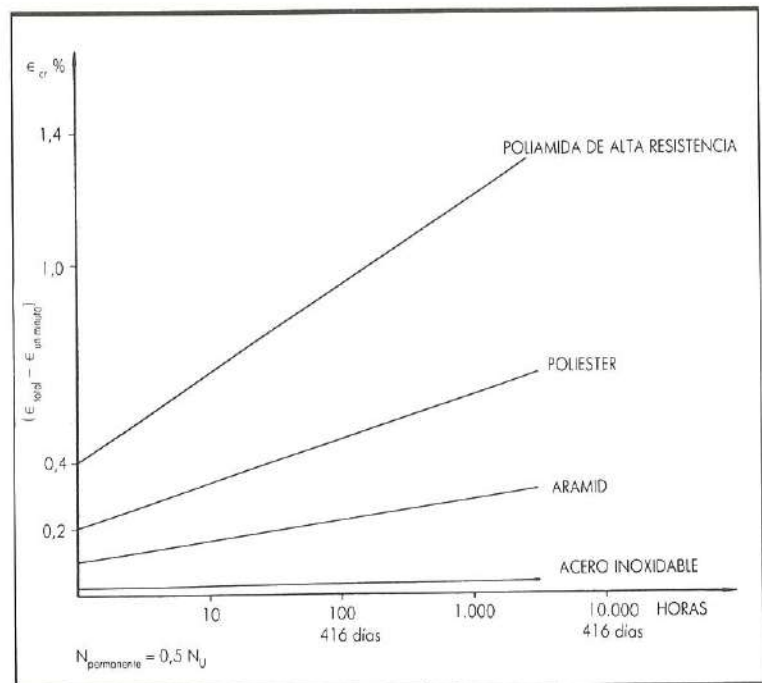


FIGURA 5. Deformaciones dependientes del tiempo de algunas fibras standard.

TEJIDO BASICO Y REVESTIMIENTOS	ACABADOS TIPICOS
ALGODON/SINTETICO	PROOVING
POLIESTER	PLASTIFICADO CON PVC/PINTADO/PELICULA PVDF CAUCHO SINTETICO
POLIAMIDA	PLASTIFICADO CON PVC/PINTADO/PELICULA PVDF CAUCHO SINTETICO
VIDRIO	PTFE SILICONA
ARAMID	PLASTIFICADO CON PVC/PINTADO/PELICULA PTFE
PTFE	NO PRECISA REVESTIMIENTO

FIGURA 6. Tejido base y típico recubrimiento/acabado.

(70 % a 70°C). Las calidades ligeras de PVC/aramid pueden alcanzar las mismas cifras. En membranas de este tipo de alta resistencia es inevitable el uso de la combinación de soldadura y cosido.

La soldadura de membranas PTFE/fibra de vidrio se produce mediante un proceso de contacto a alta temperatura. La resistencia de estas juntas es aproximadamente del 80 al 90 % (23°C) de la resistencia del tejido.

2. El segundo tipo de juntas son las uniones cosidas. El cosido, la técnica más antigua para unir tejidos, tiene hoy una importancia reducida. Hay varias razones para ello: hoy las uniones soldadas son frecuentemente de tan buena calidad que es incluso más alta que las uniones cosidas. Además los cosidos no son completamente impermeables y el hilo de cosido puede ser atacado por agentes ambientales. Medidas adicionales deben ser tomadas para proteger las juntas, figura 8. El cosido puede llegar a ser antieconómico si se aplica a juntas standard muy largas o a trozos simples. Sin embargo, para muchos detalles, especialmente si se han de introducir fuerzas localmente en la membrana, el cosido, en combinación con la soldadura, produce óptimos resultados.

La resistencia de los cosidos de membranas de PVC/poliéster es aproximadamente del 70 % de la resistencia del propio tejido a 23°C (50 % a 70°C). Para membra-

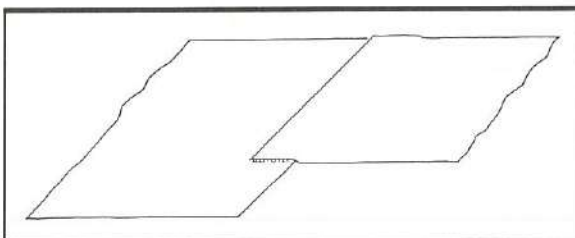


FIGURA 7. Detalle de junta soldada.

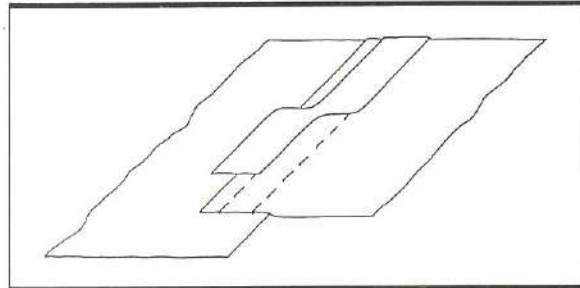


FIGURA 8. Junta cosida con película protectora.

nas PVC/aramid el cosido es usado en combinación con soldaduras HF. Se puede alcanzar una resistencia última de alrededor del 80 % de la resistencia del propio tejido a 23°C. En membranas PTFE/fibra de vidrio no es posible el cosido.

3. El tercer grupo de juntas puede ser llamado juntas mecánicas. Lo típico de este grupo es que las fuerzas son transmitidas por medio de pasadores, pernos o cuerdas que pasan a través de agujeros en la membrana, figuras 9, 10 y 11. Las juntas de este tipo son usadas frecuentemente para unión de grandes elementos «in situ», de acuerdo con lo que aparece en las figuras 10 y 11 y para resistencias bajas y uniones temporales.

La resistencia de las juntas, de acuerdo con la figura 10, depende de los detalles constructivos. Frecuentemente se puede alcanzar una resistencia del 80 al 90 % de la resistencia de la propia membrana (23 °C).

3.2. DETALLES DE BORDE

A lo largo de los bordes, las membranas encuentran elementos estructurales que sirven para concentrar las cargas y transmitirlas a la cimentación.

Estos elementos de borde llevan consigo algunos problemas estructurales generales y de detalle:

- Por estar fuertemente solicitados son normalmente de acero, por tanto, mucho más rígidos y resistentes que la propia membrana. Esto influye grandemente

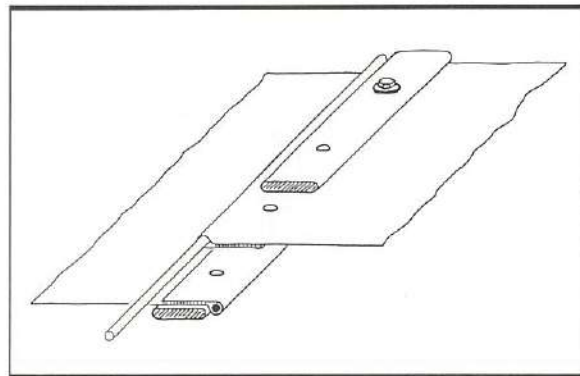


FIGURA 9. Junta con pasadores de dos membranas.

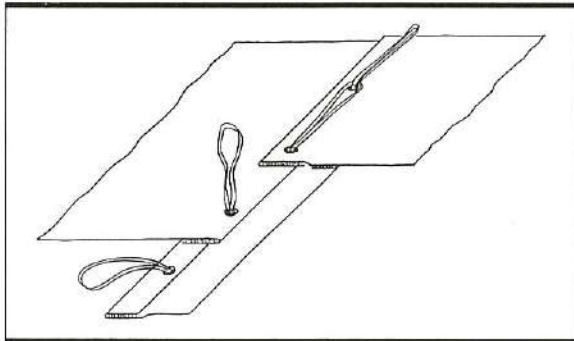


FIGURA 10. Detalle típico de presilla.

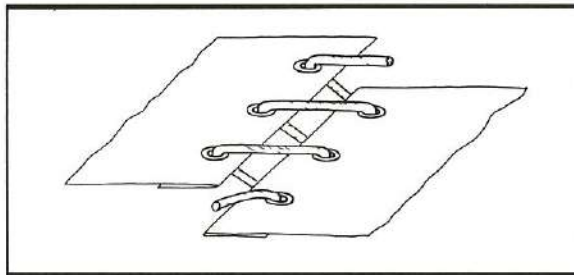


FIGURA 11. Membranas con ojos metálicos o plásticos, conectados con una cinta curvada en zig-zag.

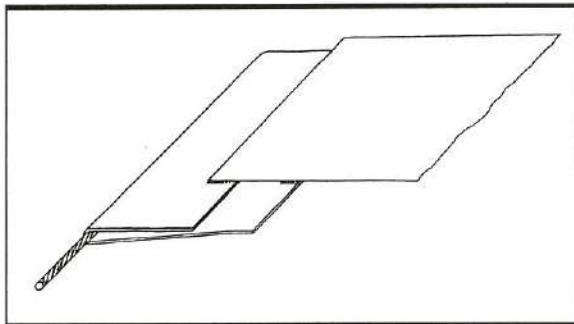


FIGURA 12. Borde doblado para cable en membrana de doble capa.

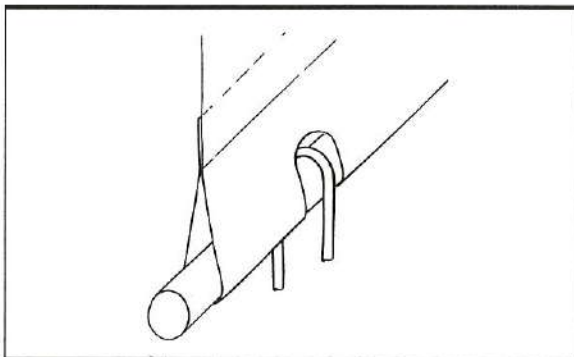


FIGURA 13. Tubo en borde doblado, detalle standard para estructuras neumáticas.

en las deformaciones elásticas y por tanto en los esfuerzos de la membrana en las zonas periféricas.

- Con el fin de evitar sobretensiones locales de la membrana, estos elementos de borde han de recoger todos los componentes de los esfuerzos de la membrana que actúan a lo largo del borde. La transferencia de las fuerzas perpendiculares al borde causan menos problemas que la transferencia de fuerzas tangenciales.

Para garantizar la transferencia de fuerzas desde la membrana flexible, solamente tensionada y muy fina, a los elementos de borde, su unión debe estar muy bien concebida.

Hay diferentes tipos de detalles de borde. En general se puede distinguir:

- Elementos de borde que trabajan solamente a tracción (comparativamente flexible).
- Bordes rígidos y resistentes (vigas a compresión y/o flexión).

Los elementos de borde solamente sometidos a tracción son generalmente cables de acero. La conexión entre la membrana y el cable se realiza, bien doblando la propia membrana, o bien mediante grapas como aparece en las figuras 14 y 15. En el caso de fuerzas pequeñas se pueden usar también las uniones que aparecen en la figura 11.

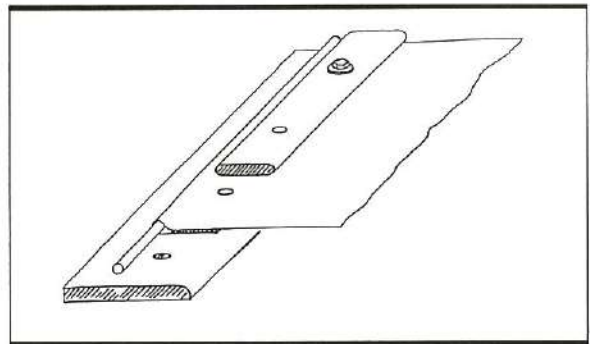


FIGURA 14. Detalle standard de borde con pasadores.

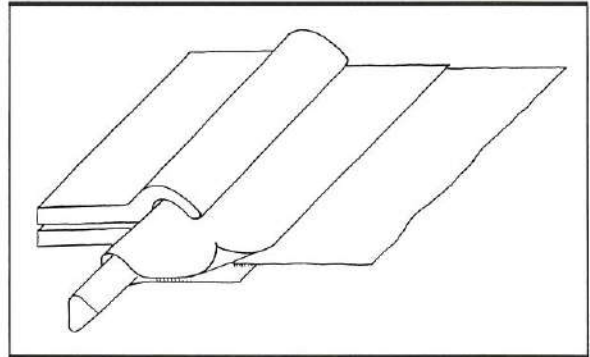


FIGURA 15. Detalle de borde con pasadores para membranas con cargas elevadas.

La resistencia de estas zonas de borde depende de sus detalles constructivos. Para los tejidos de PVC/poliéster, los bordes mediante doblado de la membrana alcanzan una resistencia del 95 % de la misma. (Ensayo de corta duración a 23°C.)

Los cables de acero se usan por su bajo precio y porque pueden ser anclados fácilmente a la cimentación. Sin embargo, la solución es válida solamente para membranas de tamaño no muy grande y para fuerzas tangenciales limitadas en el borde de la membrana: solamente pequeñas fuerzas tangenciales pueden ser transferidas por medio de fricción.

En el caso de fuerzas tangenciales elevadas a lo largo de un borde con la membrana doblada, muy frecuentemente se cose a la membrana una banda de tejido, que va paralela al cable del borde. Las bandas se diseñan para absorber las fuerzas tangenciales y para transmitir las a la cimentación. Estas bandas de tejido presentan un comportamiento tensión-deformación diferente a los cables. Además su comportamiento resistente depende del tiempo. Por ello es difícil predecir el reparto de fuerzas que se establecerá entre ambos elementos (2) (3).

En el caso de fuerzas pequeñas y de bordes con curvas de radio reducido, una banda de tejido es el único elemento de borde que puede ser cosido directamente a la membrana. Estas bandas pueden llevar las fuerzas directamente a la cimentación o pueden ser ancladas a distancias pequeñas a un cable de acero que corre paralelo al borde curvo. Este tipo de borde es conocido con el nombre de solución de «cable con guirnalda».

La otra solución es un elemento de borde solamente sometido a tracción cuya rigidez corresponde a la propia del tejido y que es realizado también con fibras para permitir una fácil conexión con la membrana (2) (5).

El diseño de bordes rígidos y resistentes está más desarrollado. La solución standard es la conexión de la membrana directamente con la cimentación por medio de abrazaderas, figura 14. La geometría de los detalles, su ejecución y su resistencia es similar a la conexión con abrazaderas de dos membranas, figura 9. En membranas de PVC/poliéster se pueden alcanzar resistencias cercanas al 90 % de la del tejido.

En caso de que solamente hayan de ser ancladas fuerzas pequeñas, también puede usarse un tubo dentro de un doblez en la membrana, figura 13.

Los materiales standard para membranas y sus detalles asociados ofrecen un gran número de posibilidades estructurales.

A continuación se presentan algunas estructuras diseñadas recientemente por el autor subrayando algunas de las ventajas específicas, tanto de los materiales como de las membranas en general.

4. CUBIERTA DEL ESTADIO DE RIYADH, ARABIA SAUDITA

De acuerdo con el diseño estructural de J. Fraser, J. Roberts y Partners (Londres), con Geiger y Berger (Nueva York), los graderíos del nuevo estadio de Riyadh están cubiertos por una membrana de 50.000 m² para proteger a los espectadores del sol y de la lluvia, figura 1.

La cubierta, que fue inaugurada en 1987, está compuesta por 24 elementos, formando un anillo de 134 m de diámetro interior y 270 m de diámetro exterior. Cada una de estas unidades, según se ve en la figura 16, consta de los siguientes elementos:

- Un mástil vertical.
- Un par de cables de suspensión y estabilización, tensados por otro cable que forma un anillo central.

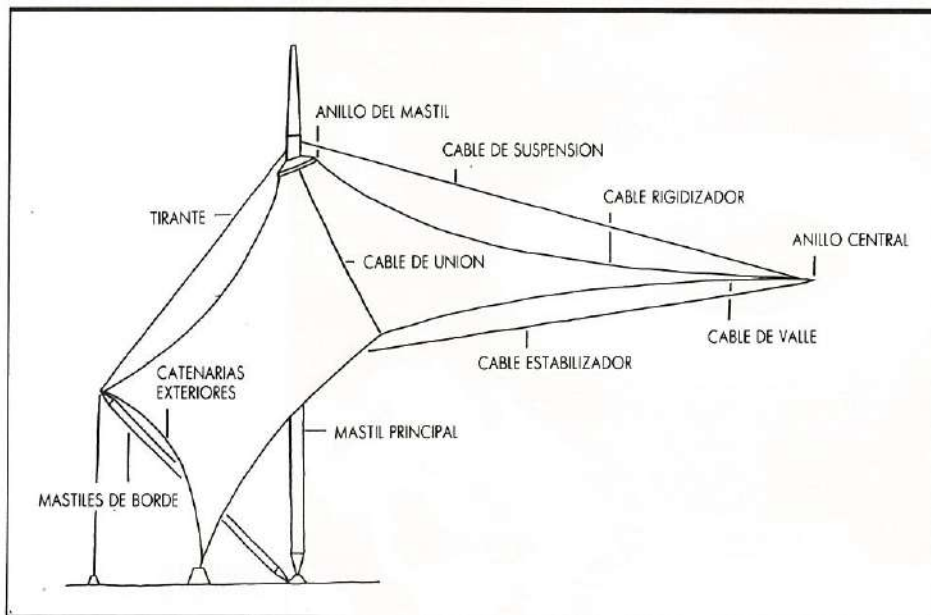


FIGURA 16. Unidad de la cubierta del Estadio de Riyadh. Elemento estructural.

- El sistema de soporte que comprende un cable superior y dos inferiores triangulados y desviados por un mástil inclinado 45° .

Estos tres elementos forman un sistema estructural primario que fue construido previamente. Las unidades de la membrana, bordeadas por cables en las cumbres, valles y catenarias fueron fijadas a este sistema primario a continuación.

La membrana es de PTFE/fibra de vidrio. La resistencia última pedida es de 150 KN/m en ambas direcciones. Esto asegura un coeficiente de seguridad mayor de 10 para cargas permanentes como pretensado y mayor que 5 para cargas de corta duración como el viento. La membrana de PTFE/fibra de vidrio fue elegida para esta estructura por las siguientes razones:

- La muy baja degradación por radiaciones ultravioletas intensivas.
- La alta resistencia ante la acción abrasiva de la arena.
- La «auto-limpieza» producida por el comportamiento antiadhesivo del recubrimiento del PTFE.

Cada una de las 24 unidades de la membrana está dividida en cuatro partes, resultando un tamaño máximo de 850 m^2 por pieza. Cada pieza fue fabricada en taller y plegada en un embalaje para su transporte. Las piezas fueron, finalmente, unidas en el suelo del estadio mediante abrazaderas. Después de la colocación del conjunto de la membrana se introdujo el pretensado del anillo tensado desde los mástiles principales (4) (5).

5. CUBIERTA PLEGABLE PARA LA PLAZA DE TOROS DE ZARAGOZA

La plaza de toros de Zaragoza en España, fue diseñada en la última década del siglo XVIII. La estructura existente es circular en planta con un diámetro aproximado de 100 m. La nueva cubierta se colocó sobre el perímetro de la galería perimetral existente de 3 pisos (figura 17), y cubre 15.000 asientos. Consiste en una parte permanente exterior de forma anular y una parte central plegable. La parte central de la estructura de la cubierta debe ser instalada en 1990.

La parte permanente de la cubierta es una estructura ligera. El borde exterior es un anillo poligonal de acero, los radios están formados por cables pretensados y la zona central por sendos anillos de cable, unidos por 16 postes tubulares. La membrana permanente se colocó finalmente entre el anillo inferior y los cables radiales.

La parte plegable de la cubierta se instalará en la zona central. A lo largo de su perímetro estará fijada a la punta inferior de los postes tubulares. Un punto central debe suspenderse de un sistema de cables de disposición radial. El pretensado de la cubierta plegable está previsto que se realice mediante un gato hidráulico por su punto central. La apertura y cierre de la cubierta se realizará con la membrana destensada mediante 16 aparatos eléctricos.

Ambas membranas, la plegable y la permanente, son del mismo tipo de PVC/poliéster. Este material ha sido elegido por su flexibilidad que permite plegarlo fácilmente y una vez plegada ocupa menos espacio. La resistencia de esta membrana es de 115 KN/m.



FIGURA 17.
Plaza de toros de Zaragoza
con su cubierta.

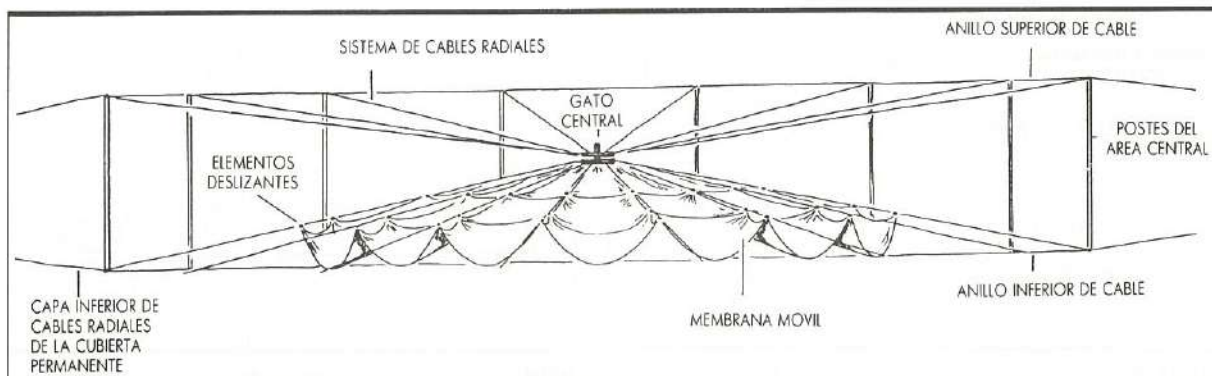


FIGURA 18. Plaza de toros de Zaragoza durante su operación de eliminación de la cubierta.

6. CUBIERTA PLEGABLE DEL ESTADIO OLÍMPICO DE MONTREAL

Inicialmente, la cubierta móvil del estadio olímpico de Montreal iba a ser instalada para los Juegos Olímpicos de 1976. Por diversas razones la decisión última para la instalación de la cubierta fue tomada en 1984. La idea inicial del Arquitecto R. Taillibert fue respetada en general, pero el diseño original fue considerablemente transformado (5) (6).

La cubierta textil de 20.000 m² del Estadio Olímpico de Montreal es la membrana móvil mayor del mundo. Es de una sola pieza y está suspendida por cables de 26 puntos interiores desde una torre inclinada de 168 m de altura. A lo largo de su perímetro, la membrana está bordeada por 17 cables que transfieren las fuerzas a la

cubierta de hormigón existente que cubre los graderíos, figura 19.

La cubierta puede servir como ejemplo para mostrar que, en ciertos casos, la viabilidad de una idea o estructura depende de la solución de un detalle singular.

El proceso de recogida, tal y como se propuso originalmente y seguido en líneas generales —pero no en sus detalles— está esquematizado en las figuras 20, 21 y 22. (Debe notarse que para conseguir una mayor simplificación, en éste y en los esquemas siguientes, las 17 uniones existentes en el borde están representadas por 4, y los 26 puntos de suspensión por 2.) Consta de los siguientes pasos:

— Liberación de la tensión soltando los cables y bajando los puntos de suspensión.



FIGURA 19.
Vista general del Estadio Olímpico de Montreal.

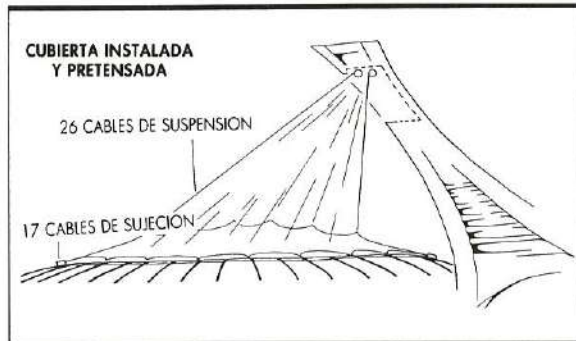


FIGURA 20. La cubierta del Estadio de Montreal en su posición final y tensada. Representación simplificada. Idea inicial.

- Retirada de los bulones del borde.
- Elevación de la cubierta, recogiendo los cables de suspensión y liberando los cables de frenado.

El diámetro propuesto originalmente para los cables de suspensión era de 40 mm aproximadamente. Se querían instalar los 26 tornos en la parte superior de la torre, y recogerlos y tensarlos directamente desde ese lugar. El conjunto de la cubierta, incluyendo los cables y la torre, fueron diseñados para 1/3 de la carga de nieve prevista. Debía instalarse un sistema para fundir ésta.

Tuvimos grandes dificultades para encontrar una junta aceptable para el tejido PVC/aramid (impuesto por el cliente por haberlo comprado ya en el comienzo de los setenta), que a su vez soportase temperaturas elevadas para lo cual recurrimos a la combinación de cosido y soldadura. Las temperaturas altas no podían evitarse si el sistema de fundir la nieve debía trabajar en condiciones realistas y ello reducía dramáticamente la resistencia de las uniones. Más aún, ¿no era posible una avería del sistema durante una nevada? Un edificio no es una máquina.

Si incluíamos una carga de nieve de $1,35 \text{ KN/m}^2$, el diámetro de los cables de suspensión debía llegar hasta 130 mm y con ello crecía también el diámetro y tamaño

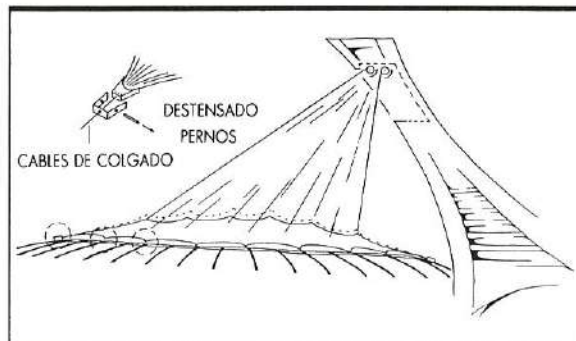


FIGURA 21. Las fijaciones a lo largo del borde sólo pueden quitarse una vez destensada la membrana. Idea inicial.

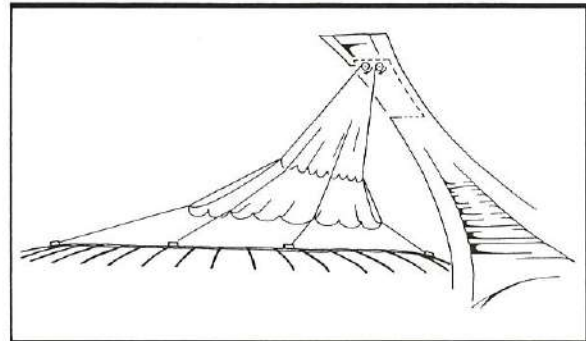


FIGURA 22. Elevación de la cubierta. Idea inicial.

de los tornos. No había posibilidad de acomodarlos en la torre, además de su elevado costo y su inoperabilidad.

En este contexto se debe mencionar que para un cable es perjudicial enrollarlo y estirarlo simultáneamente. Especialmente si en el punto en que deja el torno es sometido a flexión permanente bajo tensión. Esto significa que su diámetro ha de ser incrementado para reducir el esfuerzo axial, aumentando de nuevo el esfuerzo de flexión y el tamaño del torno. Estamos pues en un círculo vicioso.

La solución vino de una idea tan sencilla como separar las operaciones de levantar y enrollar la membrana, de las de tensarla y ponerla en carga. Esto es, enrollar los cables cuando estaban descargados y tensarlos cuando ya estaban derechos. Con ello, los cables más cargados necesitaban «solamente» un diámetro de 95 mm. Este estaría unido a la torre soporte por un cable grúa de 30 mm de diámetro y la fosa de unión tendría un gato hidráulico para tensar y destensar, figura 23. De hecho, solamente 12 del total de los 26 cables de suspensión tiene gato, porque son suficientes para tensar y destensar toda la cubierta. Esto reducía no solamente los costes, sino que simplificaba la operación de recogida. Para aliviar más aún la congestión de la parte superior de la torre, los cables no son enrollados

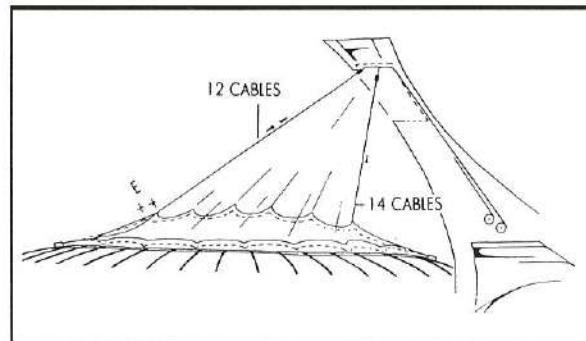


FIGURA 23. Separación de funciones. La elevación de la cubierta incluyendo los cables de suspensión se lleva a cabo con la ayuda de cables grúa. Proyecto final.

LOS 4 TIPOS MAS DUROS DE LA CIUDAD

GRACIAS A EL SE ACABARON LAS CASUALIDADES

Stadip Antiagresión: Dirigido a los escaparates de cualquier tipo de comercio. Porque nadie está libre de una pedrada o un balonazo. Por eso, en caso de rotura, el vidrio permanece en el bastidor, sin acceso al interior.



EL DURO MAS TIERNO CON LAS PERSONAS

Stadip Seguridad Física: Dos lunas de alta seguridad que, en caso de rotura, no permiten que los trozos de vidrio se desprendan, evitando el riesgo de accidente. Especialmente indicado para el hogar, escuelas, guarderías, centros deportivos, centros sanitarios...



IMPERTURBABLE INCLUSO ANTE LAS BALAS

Stadip Antibala: Obligatorio para los establecimientos en los que se manejan fondos, drogas u objetos de gran valor. No sólo impide el paso de las balas, sino que evita la proyección de esquirlas de vidrio al interior del local. Imprescindible en instalaciones policiales y militares.



EL AZOTE DE LOS AMIGOS DE LO AJENO

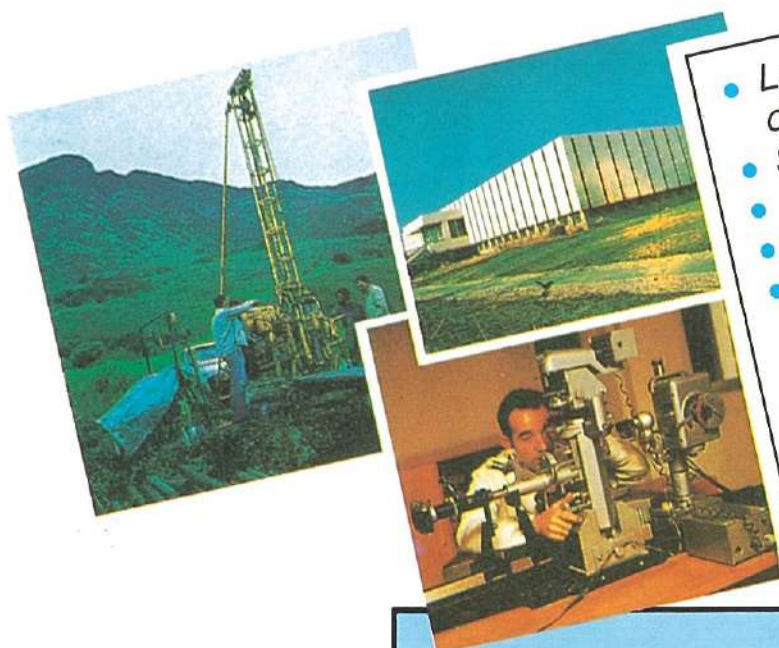
Stadip Antirrobo: El que exige la ley para joyerías o locales continuamente expuestos a robos. Tres lunas de alta resistencia, capaces de hacer frente a ataques reiterativos. El primer vidrio diseñado para decir adiós de una vez por todas al riesgo de robo.



**GEOLOGIA, GEOTECNIA, CONTROL DE OBRA,
CONTROL MEDIO AMBIENTAL Y LABORATORIOS.**

**FABRICACION DE: ADITIVOS PARA MOLIENDA DE
CEMENTO Y PARA HORMIGON, CEMENTO ROMPEDOR
DE ALTA SEGURIDAD** (silencioso, no explosivo).

PROYECTOS, ESTUDIOS, ANALISIS Y ENSAYOS



- Localización y estudios de yacimientos.
- Sondeos y ensayos de campo
- Ensayos de identificación
- Ensayos mecánicos
- Ensayos de control y caracterización
- Descripción geológica
- Características Geotécnicas
- Análisis y caracterización de minerales y concentrados.
- Análisis de carbones.



Compañía Internacional de Investigación y Ensayos, S.A.

Carretera Madrid-Toledo, Km. 50 (desvío de Cabañas de la Sagra). 45520 Villaluenga de la Sagra (Toledo).
Tels. (925) 53 03 00 - 53 06 12 - 53 03 09. Fax. (925) 53 11 36 • Azorín, 2. 13170 Miguelturna (Ciudad Real). Tel. (926) 22 98 36

LABORATORIO ACREDITADO POR EL MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA PARA LOS ENSAYOS DE YESOS, CEMENTOS Y SUS PREFABRICADOS • LABORATORIO HOMOLOGADO POR EL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO EN LAS CLASES A (HORMIGONES) y C (SUELOS) • LABORATORIO ACREDITADO POR LA RED ESPAÑOLA DE LABORATORIOS DE ENSAYO • EMPRESA COLABORADORA DE LA ADMINISTRACION (ECA) EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE.

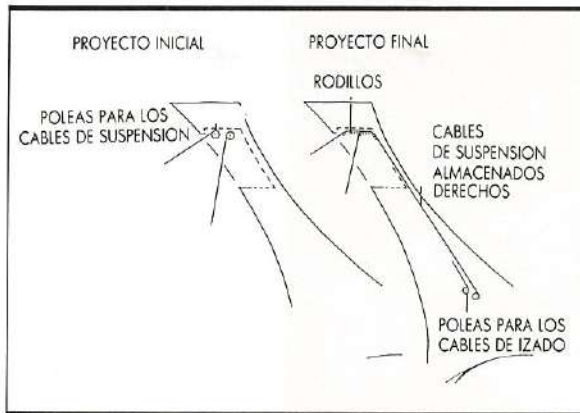


FIGURA 24. Estando abierta la cubierta los cables se recogen derechos dentro de la torre. Sólo los pequeños cables grúa han de ser enrollados. Proyecto final.

allí, sino solamente desviados hacia la base de la torre y allí enrollados, figura 24. Los tornos, que ahora se utilizan solamente para los pequeños cables-grúa y para soportar la carga muerta de la cubierta, se encuentran en la base de la torre, figura 24.

Para acabar se debe mencionar otra ventaja más sobre el diseño original: para control del movimiento de la cubierta durante la elevación y para recogerla se introdujo un cable «suelto» uniendo de forma similar a una cortina las 17 conexiones de borde, figura 26. Esto es más fácil de decir que de cumplir. Las juntas de fundición necesarias para unir el borde al cable «suelto», que

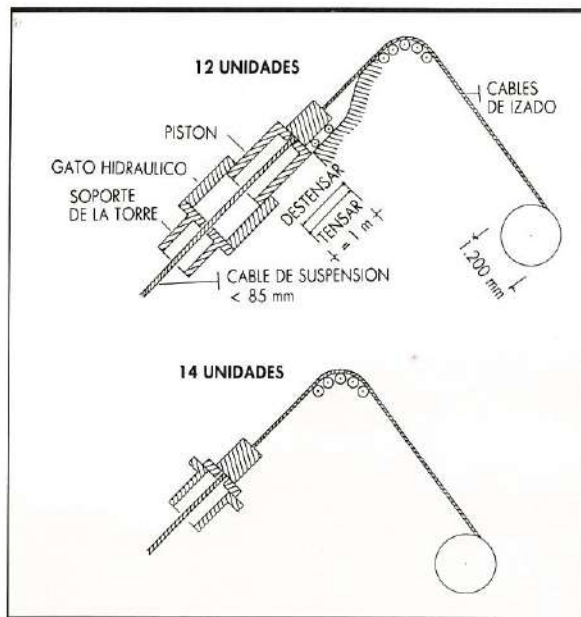


FIGURA 25. El tensado y sustitución de los cables se realiza mediante gatos hidráulicos que cambian a varios cables de suspensión. Proyecto final.

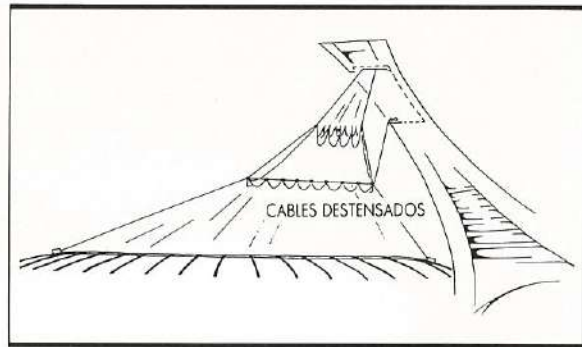


FIGURA 26. Un cable circular «tipo cortina» ha sido añadido para garantizar un controlado proceso de plegado y desplegado de la membrana. Proyecto final.

han de ser levantadas con la cubierta, tienen un peso total de más de 50 tn.

7. CUBIERTA DE «LES ARENES» DE NIMES

La cubierta del anfiteatro romano de Nimes en Francia, es una estructura del tipo de colchón inflable, de planta elíptica con ejes principales de 90 y 60 m. Fue diseñada para cubrir la parte central del anfiteatro durante el invierno, lo cual significa que la estructura ha de ser colocada cada año en octubre y quitada en abril, figura 27. Se inauguró en diciembre de 1988.

La membrana superior e inferior del colchón está rodeada por treinta cables. En el punto donde se unen estos cables, se ha fijado un anillo poligonal de acero. La membrana tensionada y este anillo de acero comprimido forman una estructura equilibrada, figura 28.

Este anillo está sostenido por 30 columnas con una altura de 10 m, las fuerzas horizontales son absorbidas por cuatro cables en «X» colocados entre las columnas. Un cerramiento transparente se extiende desde el anillo a la parte exterior del perímetro.

La estructura fue diseñada con la exigencia de minimizar la carga muerta y estudiando los detalles para facilitar el proceso de montaje y desmontaje. Todas las uniones son mediante pernos o pasadores. El anillo se divide en 30 elementos, las columnas pueden ser sacadas fácilmente eliminando unos pernos. La membrana consiste en una capa superior y otra inferior que pueden ser unidas rápidamente por una cremallera que no deja pasar el aire. La fachada consiste en 480 vigas idénticas de policarbonato de tipo cajón con un peso muerto de 30 kg cada una solamente.

Los cordones y gatos hidráulicos son usados para la elevación y bajada de la estructura de cables, la membrana y el anillo de acero. Todo el sistema de elevación ha sido desarrollado especialmente para este edificio. Se escogió para las membranas del colchón tejido de PVC/poliéster por su idoneidad para su plegado múltiple, almacenamiento y operación de instalación. La membrana superior muestra una resistencia de 150 kN/m, la

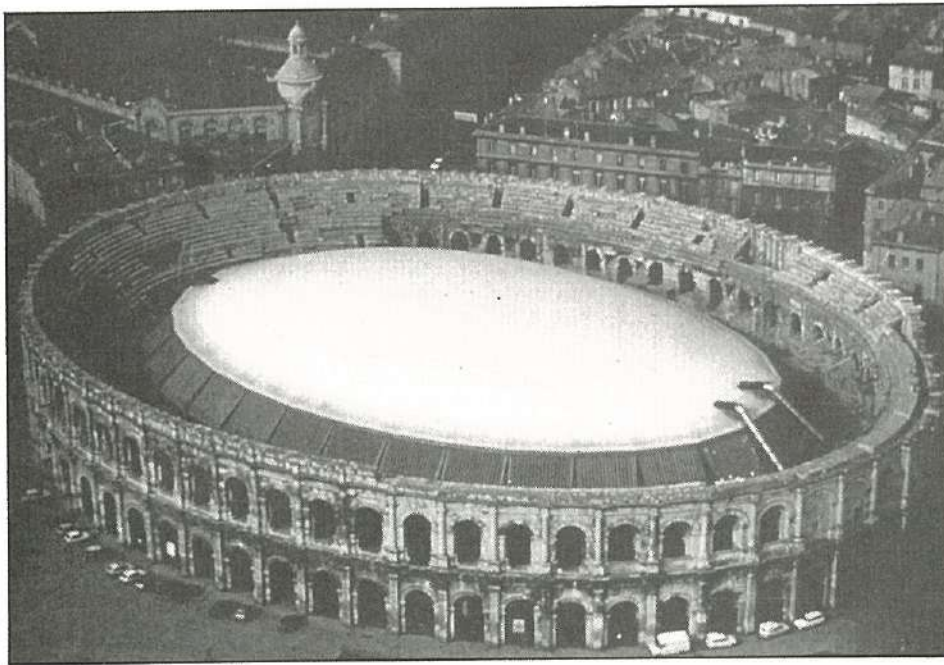


FIGURA 27.
Cubierta de «Les Arenes» de Nîmes.

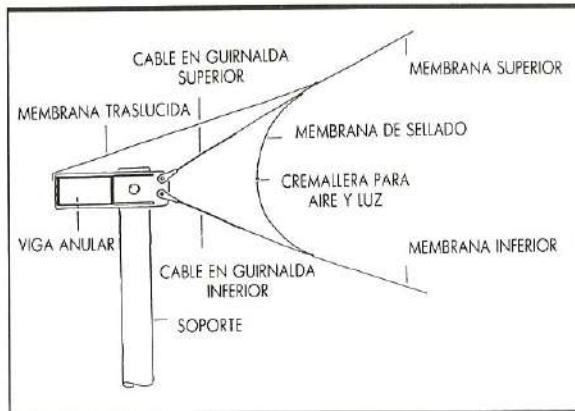


FIGURA 28. «Arenes» de Nîmes. Fijación del colchón neumático al anillo de compresión.

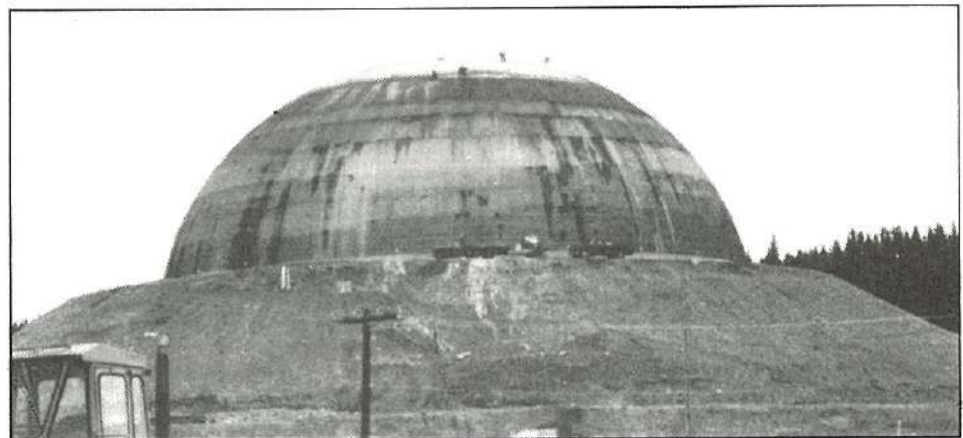


FIGURA 29.
Gran lámina de hormigón en construcción. Encofrado neumático realizado con una membrana PVC/Poliéster. La luz del encofrado es de 58 m. Foto: H. Harrington.

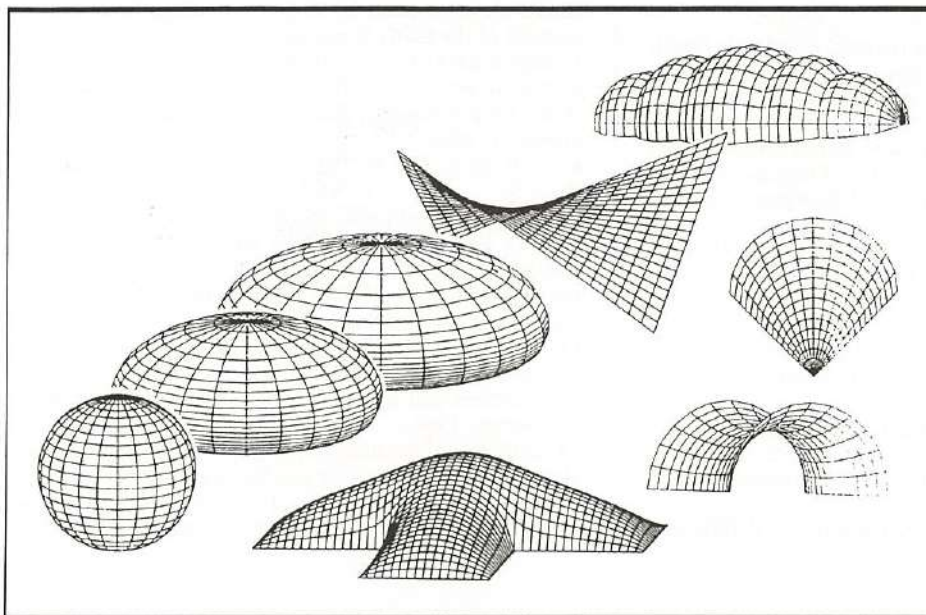


FIGURA 30.
Láminas de hormigón.
Algunas de las formas
realizables con encofrados
neumáticos.

membrana inferior, que está reforzada por una red de cables, tiene una resistencia de 88 KN/m.

La estructura ha sido diseñada para resistir condiciones de carga extremas, viento de hasta 200 km/h y carga de nieve de 90 kg/m², lo cual supone una carga aproximadamente el doble peso muerto de la cubierta.

8. ENCOFRADOS NEUMATICOS

Las estructuras neumáticas muestran una variedad de formas casi ilimitada. Se caracterizan por la rapidez de erección y plegado, bajo peso, posibilidad de reutilización y facilidad de realización de superficies curvas. Pueden ser vistas por tanto, como una herramienta apropiada para volver a la construcción de láminas, usándolas como encofrado.

En general los encofrados neumáticos pueden ser usados para la construcción de:

- Fábricas de ladrillo.
- Construcciones de tierra.
- Construcciones con espuma plástica.
- Láminas.
- ...

El método es especialmente interesante para la construcción de láminas de hormigón de gran luz.

El primer encofrado neumático se usó en 1936. A partir de este momento se han desarrollado distintos sistemas. Los más importantes son los que se describen en las siguientes referencias bibliográficas (9) (10) (11) (12).

- Encofrados de alta presión interior.
- El hormigonado en capas simples, método apropiado para hormigón proyectado.

- Hormigonado en partes con intervalos para endurecimiento.
- Estabilización del encofrado con cables adicionales en combinación también con el armado.
- Estabilización del encofrado con espuma de plástico.
- Acabado del hormigón antes del comienzo del endurecimiento (Método Bini).

Estos sistemas pueden ser combinados entre sí. Todos los métodos arriba mencionados tienen en común la pretensión de reducir las deformaciones del encofrado. Esta limitación y su control son de gran importancia, porque el encofrado puede cambiar su forma notablemente bajo el peso del hormigón. Además el hormigón, normalmente, empieza su endurecimiento mientras se está procediendo al hormigonado, y su gran deformabilidad inicial se reduce después apreciablemente. Cuando alcanza las deformaciones últimas mínimas, el hormigón está todavía muy débil, y por lo tanto, las deformaciones del encofrado pueden producir un daño permanente en la lámina.

Varios cientos de láminas de hormigón han sido construidas hasta ahora con encofrados neumáticos. Su luz va hasta los 70 m con un espesor entre 10 y 15 cm, figura 29. Es digno de subrayarse que casi todas ellas sean cúpulas. Por un lado es evidente que la cúpula es un sistema estructural muy eficiente. Por otro lado, las formas más convenientes son las que mantienen el hormigón siempre a compresión, y también son las más interesantes desde el punto de vista arquitectónico. Las membranas textiles permiten la realización de estas formas óptimas, sin los importantes costes adicionales ocasionados por un encofrado de gran complejidad. El uso de encofrados neumáticos ofrece por lo tanto la posibilidad de revitalizar el uso de láminas de hormigón con su agradable arquitectura.

REFERENCIAS

1. SCHLAICH, J. Les Structures Legeres. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. Serie: Technique Generale de la Construction, núm. 479, dic. 1989.
2. GROPPER, H., y SOBEK, W. Zur konstruktiven Durchbildung ausschließlich zugbeanspruchter Membranränder. Proceedings 3. International Symposium «Weitgespannte Flächentragwerke». SFB 64, University of Stuttgart. Stuttgart, 1985.
3. SCHLAICH, J.; KLEINHANSS, K., y GABRIEL, K. Membrandach aus der Sicht des planenden Bauingenieurs. Proceedings of the Symposium «Beschichtete Chemiefasergewebe» at the University of Aachen. Aachen, 1979.
4. BERGERMANN, R. (1987). The Membrane Roof for the Riyadh Stadium (Saudi-Arabia), IABSE Structures C-41/87. IABSE Periodica 2.
5. SCHLAICH, J.; BERGERMANN, R.; SEIDEL, J., y SOBEK, W. Some Recent Membrane Structures. Proceedings of the 1st International Symposium on Non-Conventional Structures. Londres, 1988.
6. LAINEY, L.; MORIN, N.; SCHLAICH, J., y BERGERMANN, R. Retractable Roof Olympic Stadium Montreal. Proceedings of the IVBH-Symposium. Helsinki, 1988.
7. BERGERMANN, R., y SOBEK, W. Covering «Les Arenes de Nimes» with an air-inflated Fabric Structure. Proceedings of the 1st International Textextil-Symposium in Frankfurt. Frankfurt, 1989.
8. SCHLAICH, J. (1982). Haben Betonschalen eine Zukunft? Beton 9.
9. SOBEK, W. Auf pneumatisch gestützten Schalungen hergestellte Betonschalen. Doctoral dissertation, University of Stuttgart. Stuttgart, 1987.
10. SCHLAICH, J., y SOBEK, W. Suitable Shell Shapes. Concrete International, January 1986.
11. SOBEK, W. Concrete Shells Constructed on Pneumatic Formwork. Proceedings of the IASS-Symposium on Membrane Structures and Space Frames in Osaka, Japan. Elsevier, Amsterdam, 1986.
12. SOBEK, W. Schalungen aus pneumatisch vorgespannten Membranen zur Herstellung von Überdachungen, Speicherbehältern und Leistungssystemen. Proceedings of the 2nd International Textextil-Symposium in Frankfurt. Frankfurt, 1990.