

UNA CUBIERTA HINCHABLE EN LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID, ESPAÑA *

(PNEUMATIC DOME IN THE SCHOOL OF ARCHITECTURE AT THE UNIVERSITY OF VALLADOLID/SPAIN)

Juan Monjo Carrió, Dr. Arquitecto
Catedrático de Construcción.

Comisión de alumnos de 6.º curso (Viaje Fin de Carrera)
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad de Valladolid

886-41

RESUMEN

El artículo contiene una descripción del proceso del diseño y montaje de una cubierta soportada por aire, instalada por los alumnos de 6.º curso de la Escuela T. S. de Arquitectura de la Universidad de Valladolid, con el objeto de obtener un espacio cubierto de suficiente amplitud para celebrar en él una exposición de materiales y elementos de construcción.

Se realiza una breve descripción del cálculo, así como de las fases de despiece, cosido de juntas, confección general de la cubierta, replanteo, montaje, anclaje y erección (hinchado) y mantenimiento mediante el uso de ventiladores centrífugos.

El texto se complementa con una amplia colección de dibujos y fotografías relativos a todo el proceso.

SUMMARY

The article contents a description of the design and erection process of a pneumatic dome, set up by the last year students of the School of Architecture at the University of Valladolid in order to obtain a covered space, wide enough to celebrate an exhibition of construction materials.

A breve description is made of the calculations as well as the phases of patterns definition, joining, site works, reinforcements, erection and maintenance through ventilators.

The text is completed by a collection of drawings and pictures of the whole process.

1. INTRODUCCION

Los alumnos de 6.º curso de la Escuela T.S. de Arquitectura de Valladolid viene organizando anualmente un SIMPOSIO sobre CONSTRUCCION Y DISEÑO, como un apoyo más para su viaje Fin de Carrera, en el que tienen lugar tradicionalmente dos tipos de actividades: Por un lado, una exposición de materiales y sistemas constructivos locales y nacionales y, por otra, una serie de charlas y conferencias sobre el tema, dictadas por profesores y especialistas en cada una de las materias que se tocan.

La exposición de materiales y sistemas constructivos se tenía que llevar a cabo en el interior del edificio de la Escuela, en vestíbulos y pasillos, con el consiguiente problema de funcionamiento que ello lleva consigo, dadas las no excesivas dimensiones del recinto.

(*) Existe un «video» de 30 minutos de duración que recoge los diferentes aspectos de este trabajo y que puede ser adquirido en sistema «VHS» o «BETA».



Fig. 1.- Vista posterior de la E.T.S.A.V.

Por ello, ha sido aspiración común de las últimas promociones la utilización de espacios exteriores del edificio que facilitan, por un lado, el funcionamiento independiente de la exposición y permiten, por otro, un acceso más fácil y directo por parte de expositores y visitantes, con mayor disponibilidad de espacio (Fig. 1).

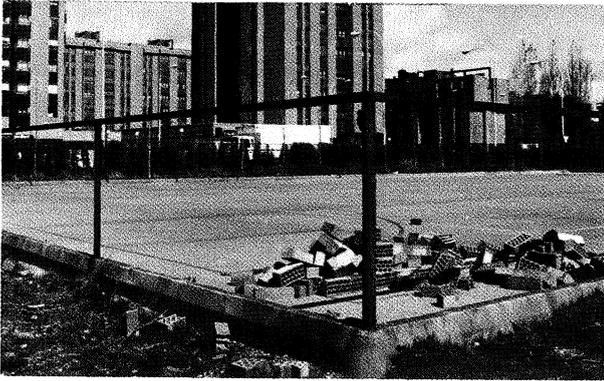


Fig. 2. - Pista polideportiva.

Una de las posibilidades que otras veces se había planteado era la de utilizar una cubierta hinchable industrial que se colocara en estos espacios exteriores para la celebración de la exposición, pero las dificultades de todo tipo que planteaba su alquiler, no sólo económicas, sino también funcionales y estéticas, hacían inviable la solución. Finalmente, por sugerencia, y con el apoyo técnico del Departamento de Construcción de la Escuela, los alumnos del presente curso (1985-86) han tomado la decisión de construir ellos mismos su propia cubierta hinchable utilizando materiales económicos, de fácil adquisición y manejabilidad, y aprovechando la pista polideportiva del recinto por las ventajas que comporta la existencia de un pavimento y de una barandilla perimetral de anclaje (Fig. 2).

2. PLANTEAMIENTO

Partimos, pues, de una superficie rectangular de 40×20 (800 m²) ya pavimentada y con una barandilla metálica perimetral de 1,20 m de altura.

Al colocar sobre ella una membrana elástica y someterla a presión interior tenderá a adquirir, en sección, una forma semicircular (Fig. 3) que alcanzará la tensión tangencial propia de las burbujas de jabón, que transmitirá a su borde donde podemos utilizar la barandilla existente como punto de anclaje.

Como quiera que la barandilla es diáfana, para evitar fugas de aire y poder mantener la presión interior, debemos colocar un faldón desde el anclaje hasta el suelo.

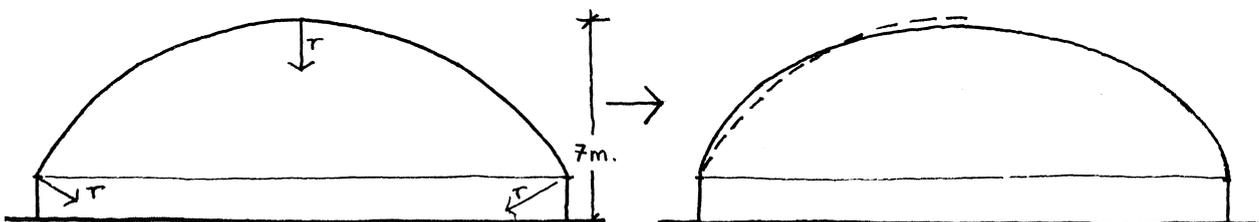


Fig. 3. - Sección transversal de la cubierta una vez hinchada.

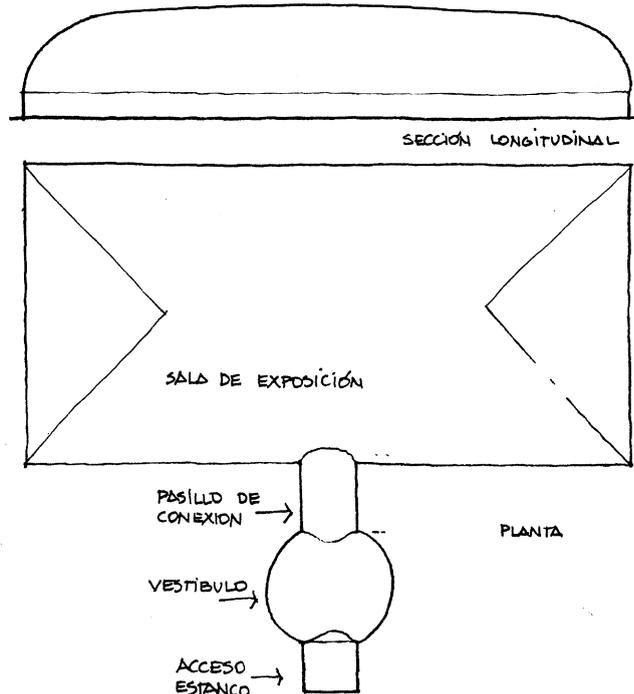


Fig. 4. - Esquema funcional de la cubierta.

Para poder disponer del espacio interior adecuado deberemos conseguir una altura interior de unos 7 m en el centro, lo que nos permitirá alcanzar altura suficiente incluso en los bordes.

El acceso deberá ser de tal manera que no permita fugas excesivas de aire. Para ello, será conveniente un vestibulo previo que, al mismo tiempo se podrá utilizar como espacio de información y control. Este vestibulo podrá tener planta circular y estar conectado con el rectángulo de la pista central por medio de un pasillo. A su vez, el acceso al vestibulo se podrá resolver por medio de una esclusa de planta cuadrada con dos puertas dobles (Fig. 4).

Al someterse a presión interior, la planta rectangular adquirirá la forma de un semicilindro (o sector de cilindro) al actuar la sección circular como generatriz y el lado mayor como directriz. Los extremos se podrán resolver fácilmente con otros segmentos de cilindro (cuartos de cilindro) de directriz perpendicular a la del principal, simulando bóvedas de rincón de claustro con aristas a 45° en planta.

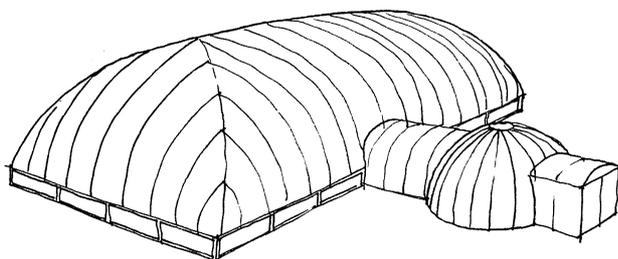


Fig. 5.-Perspectiva de la solución.

El vestíbulo, al ser de planta circular, tenderá a la forma semiesférica. El pasillo de conexión podrá ser de nuevo semicilíndrico y la esclusa de entrada necesitará una estructura rígida para la colocación de las puertas, por lo que podemos buscar una forma cúbica.

En su conjunto se proyectó, desde un principio, una cubierta como la que aparece en el croquis de la Fig. 5.

3. CALCULO

Para asegurar la estabilidad de la cubierta teníamos que resolver dos aspectos fundamentales:

- Por un lado, una membrana suficientemente resistente a la tensión tangencial que en ella se produce.
- Por otro lado, un anclaje que sea capaz de absorber las tracciones que sobre él se acumulan transmitidas por la membrana.

Para cubrir el primer aspecto, debíamos conocer cuál era esa tensión tangencial. Depende de dos acciones: la *presión interior*, que mantiene la membrana elevada y que, al modo de las burbujas de jabón, introduce una tensión que es función de la propia presión y del radio de curvatura de la membrana según la expresión $\sigma = \frac{P_i \cdot r}{2}$ (*) (Fig. 6), y el viento *exterior*, que puede ser

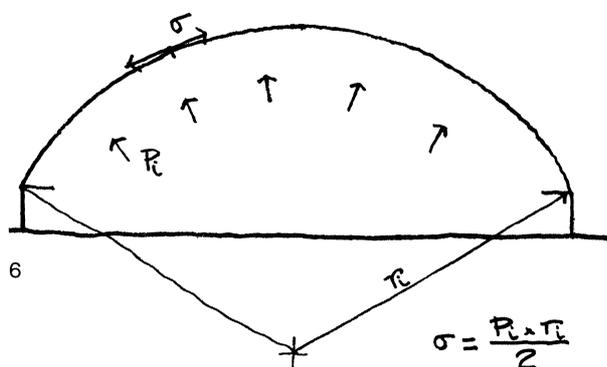


Fig. 6.-Presión interior y Fig. 7.-Acción del viento.

positivo o negativo según la inclinación de la superficie de la membrana y que, por tanto, puede suponer una disminución de la acción de la sobrepresión interior o un aumento de la misma, con las consiguientes disminuciones o incrementos de la tensión tangencial sobre la membrana (Fig. 7).

En nuestro caso, el radio de curvatura máximo elegido es de 11,5 m. La presión interior máxima debe ser, según la normativa alemana, para alturas superiores a 8 m de 30 kg/m²; ello nos da una tensión tangencial máxima de 172,5 kg/m. Si, por otra parte, consideramos una succión máxima producida por el viento de 45 kg/m², resultará una tensión tangencial alternativa de 258,7 kg/m, que por ser superior a la anterior, la tomamos como tensión máxima de cálculo. Si aplicamos un coeficiente de seguridad de 2, por el tipo y proceso de construcción, resultará una tensión de 514,4 kg/m, expresable también como 26 kg/5 cm.

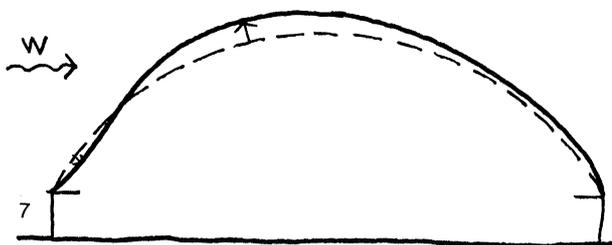
En cuanto al anclaje, el uso de la barandilla existente nos garantiza su resistencia.

Por otra parte, aunque para la presión interior necesaria hemos aceptado, según la normativa alemana, una de 30 kg/m que nos asegura la estabilidad estructural, debemos tener en cuenta también las necesidades funcionales. Para ello consideramos un número de renovaciones de aire de 1,5 cada hora, lo que nos da una necesidad de 2 kw de potencia en los aparatos de impulsión que, para mayor seguridad y en evitación de problemas por la rotura de los mismos, estableceremos en 6 kw (3 ventiladores de 2 kw/Ud).

4. EJECUCION

4.1. Confección

Una vez obtenidos estos datos por cálculo teórico veamos cómo se resolvió la cubierta constructivamente.



(*) En puridad, esta fórmula es adecuada para superficies esféricas donde los dos radios de curvatura en cualquier punto son iguales. En los casos de superficies cilíndricas, al ser uno de los radios de giro ∞ , la fórmula correcta sería $\sigma = P_i \cdot r$. Sin embargo, en nuestro caso, al estar los bordes rematados con otras superficies cilíndricas y ser un rectángulo no excesivamente alargado, la membrana tiende a adoptar una superficie parecida al elipsoide, por lo que, por aproximación, parece más adecuado el uso de aquella fórmula.

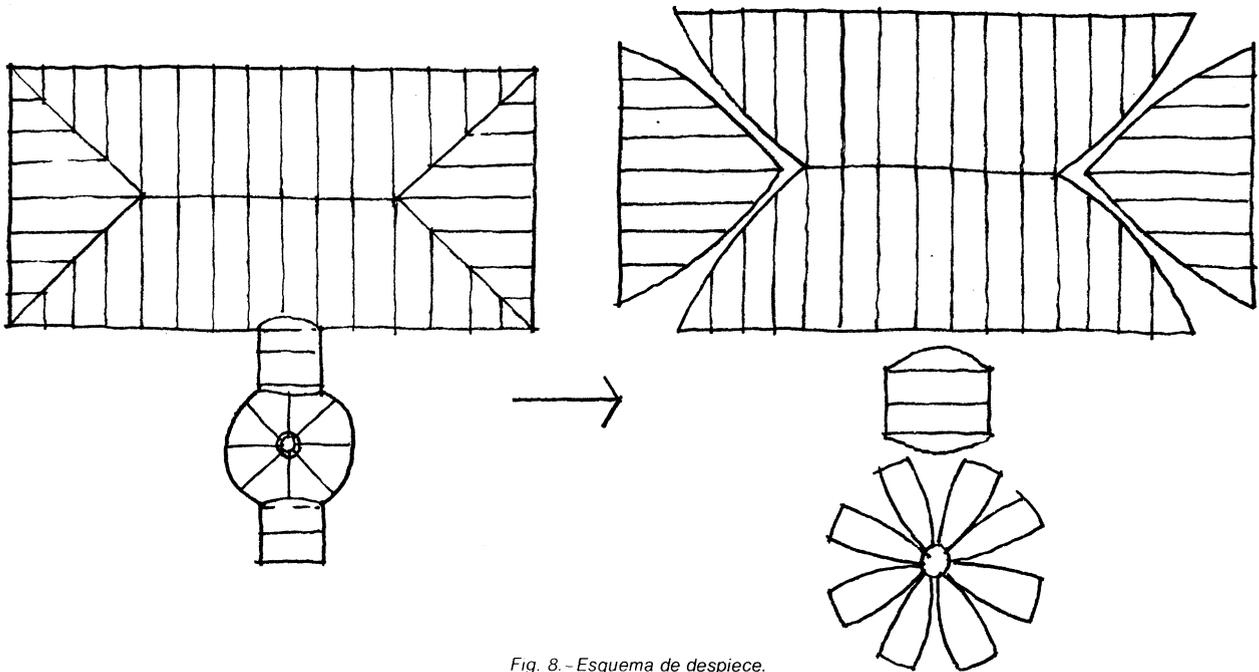


Fig. 8. - Esquema de despiece.

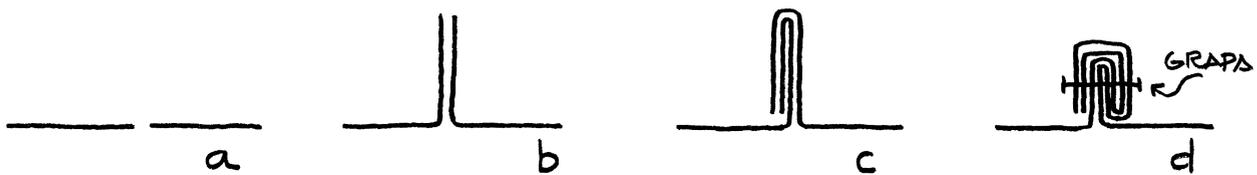


Fig. 9. - Unión por doble plegado.

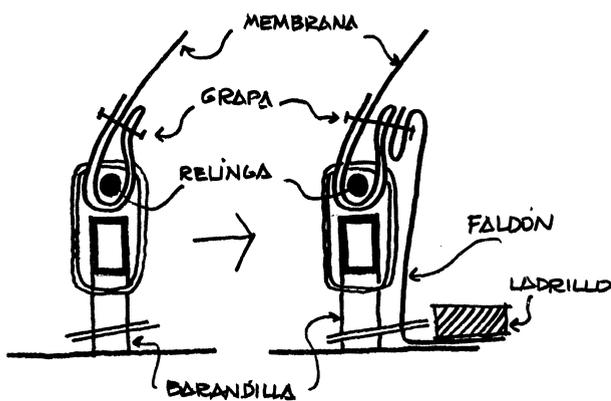


Fig. 10 a. - Anclaje a barandilla y faldón.

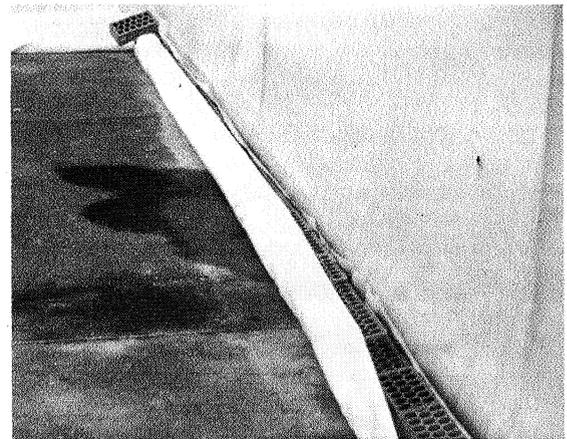


Fig. 10 b. - Faldón interior.

En primer lugar, el *despiece* de la membrana para una fácil confección. Para una superficie cilíndrica la descomposición más lógica es la de las franjas rectangulares paralelas según los círculos máximos. Los extremos, al ser una planta rectangular, se resolvieron con cuartos de cilindros según la dirección perpendicular. Los anchos de las franjas se debieron adaptar a los que ofrecía el mercado. En cuanto al vestíbulo semiesférico, se utilizaron franjas triangulares mixtilíneas según los meridianos de la esfera, en forma de gallones (Fig. 8).

Las uniones entre las distintas franjas tenían que ser resistentes a la tracción e impermeables. Para ello se utilizó un doble plegado con cosido por grapas metálicas separadas 5 cm entre sí (Fig. 9).

El anclaje de la cubierta principal se hizo a la barandilla existente por medio de una relinga rígida de redondo metálico, introducido en el dobladillo de borde, que se sujetó a dicha barandilla me-

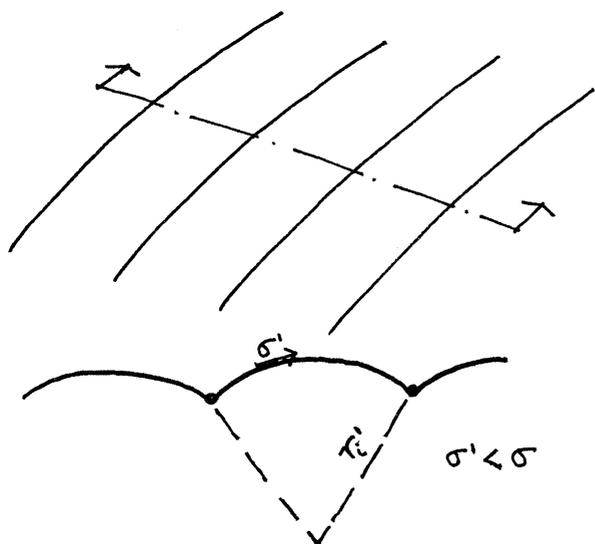
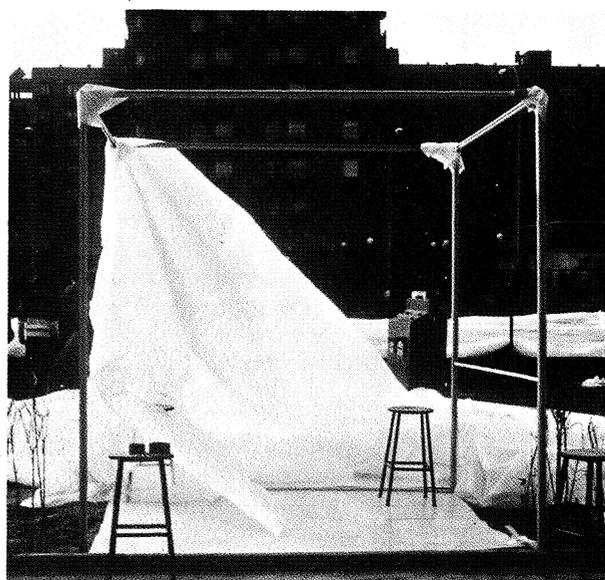
Fig. 11.—Disminución de σ por disminución de τ .

Fig. 13.—Estructura de entrada.

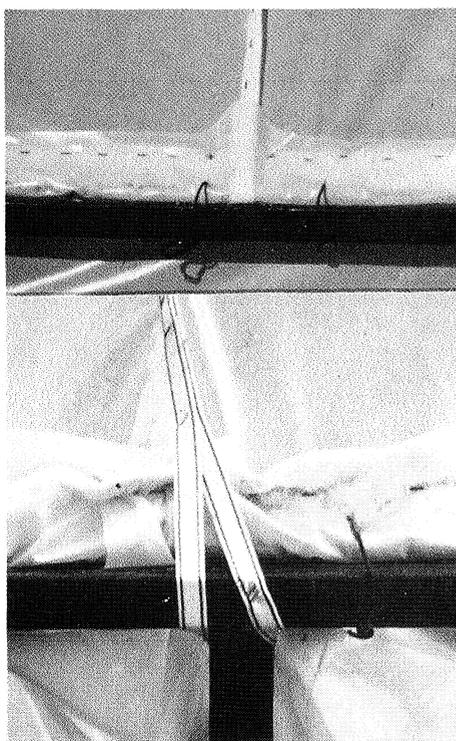


Fig. 12.—Anclaje.

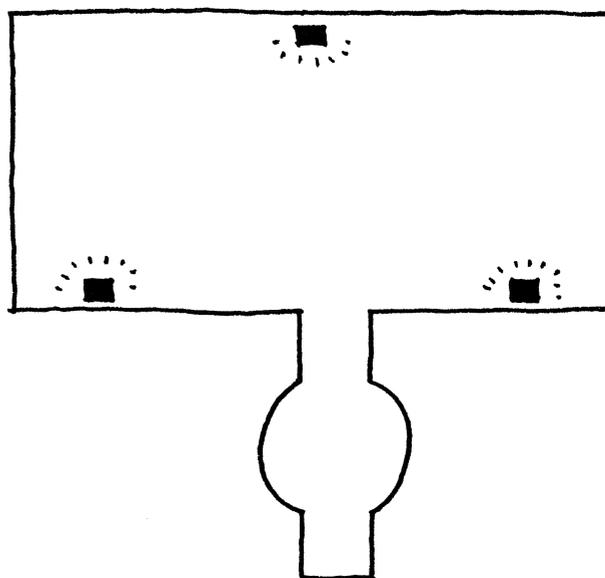


Fig. 14.—Situación de ventiladores de impulsión

dante unos ganchos. Al mismo tiempo, y para evitar fugas de aire, se cosió un faldón por el interior que se sujetó a la membrana antes de la relinga y se colgó hasta afirmarse en el suelo por medio de peso permanente (ladrillos sueltos) (Figs. 10a y 10b).

Consideramos también la posibilidad de colocar cables transversales a la cubierta principal los cuales, anclados a la barandilla, sujetarían el conjunto de la membrana dividiéndola en franjas

que, en caso de aumentar la presión interior o la succión al viento, se abombarían disminuyendo el radio de curvatura y, por tanto, la tensión tangencial (Fig. 11). Sin embargo, durante la confección se comprobó que las uniones de las láminas, al tener triple pliegue, resultaban muy reforzadas y actuaban como líneas más rígidas y, por tanto, como cables transversales, por lo que se optó por sujetar en los extremos de esas uniones trozos de «cinta de persiana» como refuerzo, que se ancló posteriormente a la barandi-

lla y cumplió perfectamente su misión, sobre todo en las aristas de los extremos y las intersecciones entre tramos diferentes (Fig. 12).

El acceso es un punto difícil de la cubierta, ya que puede suponer una salida importante de aire con la consiguiente disminución de la presión interior. Por ello, se hacía necesaria, como queda dicho, una esclusa con doble puerta. Para conseguirlo se estableció una estructura metálica antes del vestíbulo semiesférico que permitió colocar dos puertas dobles para el acceso a todo el conjunto. Esta estructura se cubrió también con la misma membrana (Fig. 13).

La impulsión del aire, que permitía alcanzar la presión interior que soporta la membrana, se realizó con 3 ventiladores centrífugos colocados lo más repartidos posible para obtener una impulsión uniforme en todo el recinto (Fig. 14).

Cada ventilador tenía una toma de aire exterior directa (Fig. 15).

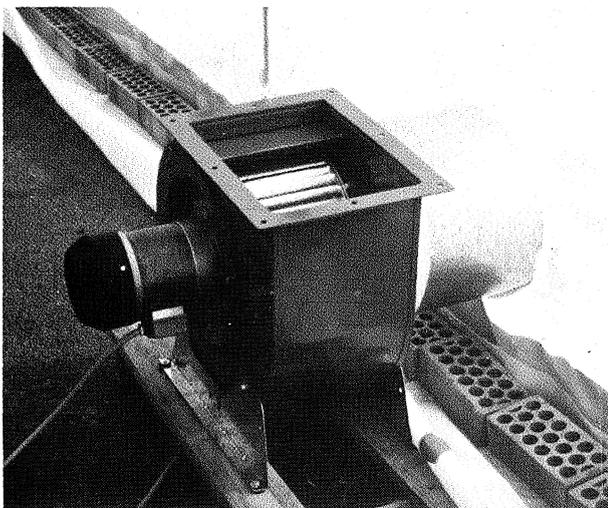


Fig. 15. - Ventilador centrífugo



Fig. 16. - Polietileno de 800 galgas.



Fig. 17. - Grapado.

4.2. Materiales

Resuelto el diseño constructivo, veamos los materiales e instrumentos.

La cubierta se confeccionó mediante lámina de polietileno, de 2 m de ancho. Este es un material económico, muy flexible y fácilmente trabajable, lo que lo convierte en el adecuado para una solución temporal como ésta.

El espesor más conveniente de los que ofrece el mercado es el de 800 galgas que equivale a dos décimas de milímetro. Su resistencia, en el caso más desfavorable es de 300 kg/cm², que equivale a 30 kg/5 cm que es superior a lo que se ha determinado en el cálculo previo y, por tanto, suficiente para este objetivo (Fig. 16).



Fig. 18. - Cosido de partes «a pie de obra».

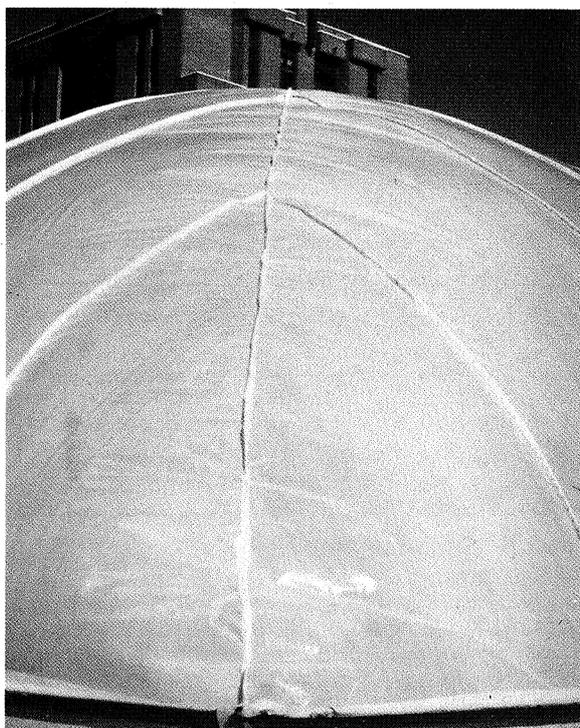


Fig. 19. - Arista convexa.



Fig. 20 a. - Hinchado. Vista interior.

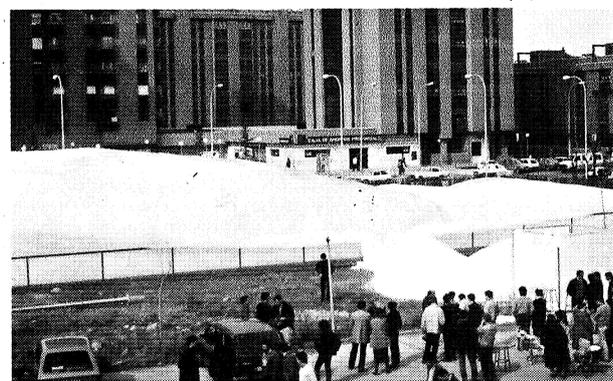


Fig. 20 b. - Hinchado. Vista exterior.

El cosido de las diferentes láminas se realizó mediante grapas industriales de acero protegido contra la corrosión (Fig. 17).

La impulsión de aire se consiguió por medio de ventiladores centrífugos de 2 kw de potencia cada uno.

Para la confección, se debían cortar las franjas al tamaño adecuado para, una vez unidas, conseguir las formas cilíndrica y esférica diseñadas. Para ello se procedió a un replanteo previo, trazando sobre el suelo el despiece de las franjas de la superficie desenrollada, y se cortó el plástico con sus medidas exactas (Fig. 18).

Una vez cortadas cada una de las franjas de polietileno se procedió a su cosido procurando mantener la linealidad de las uniones y la uniformidad del mismo para evitar futuras arrugas. Se unieron las franjas correspondientes a cada uno de los segmentos de cilindro: por un lado el principal, por otro los de los extremos y, por fin, el del pasillo de conexión, para terminar con la semiesfera.

Como complemento estructural se introdujo un refuerzo lineal en los puntos donde se acumulan las tensiones mediante «cinta de persiana», antes mencionada (Fig. 19).

Una vez confeccionados estos segmentos independientes, se unieron entre sí por el mismo procedimiento. En primer lugar la cubierta principal. A continuación se colocó la relinga y se enganchó a la barandilla, sujetando el faldón ya cosido. Después, el vestíbulo semiesférico.

Una vez terminadas estas uniones, se pusieron en marcha los tres ventiladores para proceder al hinchamiento y consiguiendo izado de la cubierta, que se llevó a cabo en unos 20 minutos (la membrana estaba mojada como consecuencia de la lluvia caída el día anterior; de lo contrario el tiempo de hinchado hubiera sido menor). (Fig. 20).



Fig. 21 a. - Vista general.



Fig. 21 b. - Vestibulo semiesférico.

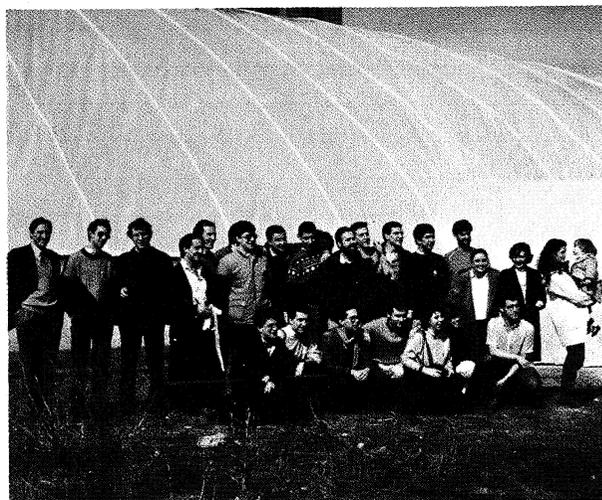


Fig. 21 c. - Vista interior.

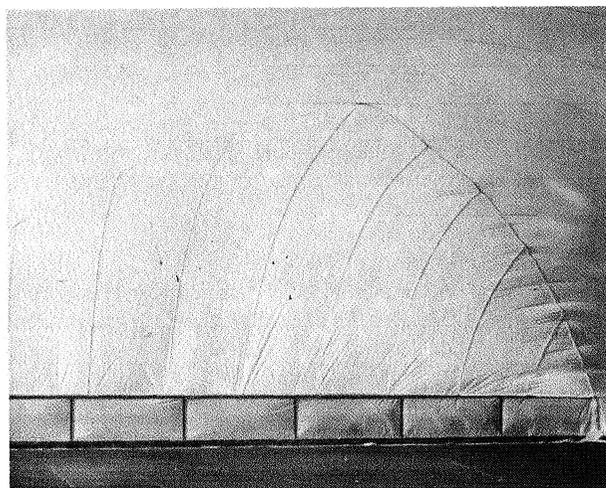


Fig. 21 d. - Comision de alumnos Final de Curso.

Una vez levantada la membrana, se deja en marcha un solo ventilador, que resulta más que suficiente para mantenerla elevada.

La cubierta ya puede utilizarse. El acceso de los materiales a exponer se realiza por la doble puerta del vestibulo semiesférico. El interior resulta totalmente diáfano y suficientemente luminoso, adecuado, pues, para los fines previstos.

El resultado final es funcionalmente correcto y estéticamente aceptable (Fig. 21).

Toda la operación de confección y elevación ha supuesto el trabajo de alumnos durante días y la cubierta se mantuvo en perfectas condiciones durante la semana que duró la exposición.

* * *