

# EL PABELLÓN DE VENEZUELA EN LA EXPO 2000 DE HANNOVER

(VENEZUELA'S PAVILION IN THE HANNOVER EXPO 2000)

Ch. García-Diego <sup>(1)</sup>; J. Llorens <sup>(2)</sup> y H. Poppinghaus <sup>(1)</sup>, Arquitectos

<sup>(1)</sup> Arqintegral, Barcelona

<sup>(2)</sup> Univ. Politécnica de Cataluña, Barcelona

Fecha de recepción: 6-II-01

149-45

ESPAÑA

## RESUMEN

*Para la EXPO 2000 de Hannover, la República Bolivariana de Venezuela construyó un pabellón proyectado por el Arquitecto Fruto Vivas, caracterizado por la forma de flor, la ligereza de la estructura de acero y vidrio, la movilidad de la cubierta y el contenido de la exposición basado en la biodiversidad del país.*

## SUMMARY

*The Bolivarian Republic of Venezuela had constructed a pavilion for the Hannover EXPO 2000, designed by the Architect Fruto Vivas, with the form of a flower, the lightness of a steel and glass structure, the mobility of the roof... The basic content of the exhibition was the biodiversity of the country.*

## EL FUTURO DEL PABELLÓN

El pabellón fue desmontado y transportado a Venezuela después de la EXPO 2000. Va a reconstruirse en el Parque del Este de la ciudad de Caracas como pabellón de exposición floral permanente.



Figura 1.- El pabellón de Venezuela para la EXPO 2000 en Hannover. F. Vivas.



Figura 2.- Pabellón de Alemania en Montreal, 1967. F. Otto & R. Gutbrod.

## La EXPO 2000 de Hannover

Las exposiciones universales se han utilizado a menudo como campo de pruebas para ensayar y presentar sistemas constructivos y formas arquitectónicas. Baste recordar el

“Crystal Palace”, la “Galerie des Machines”, la “Tour Eiffel”, el pabellón de Mies, la cúpula geodésica de Fuller, el pabellón de Alemania en Montreal o el de los EEUU en Osaka, que han contribuido al desarrollo de la construcción.

En la EXPO 2000 de Hannover también se han producido algunas aportaciones. Destacan, entre otras, las relativas a los materiales y sistemas constructivos empleados en los pabellones de Venezuela, Japón, del ZERI (Zero Emissions Research Institute), la plaza cubierta junto al lago, los apeaderos del teleférico y las construcciones complementarias y auxiliares para las cafeterías, comercios, teléfonos, servicios y oficinas de información.



Figura 3.- Pabellón EE UU en Osaka, 1970. Davis & Co. con D. H. Geiger.



Figura 5.- Pabellón del Japón, Hannover 2000. S. Ban.



Figura 4.- Pabellón de Kuwait en Sevilla, 1992. S. Calatrava.



Figura 6.- Pabellón ZERI, Hannover 2000. S. Vélez.



Figura 7.- Plaza cubierta junto al lago, Hannover 2000. T. Herzog.



Figura 8.- Apeadero del teleférico, Hannover 2000.

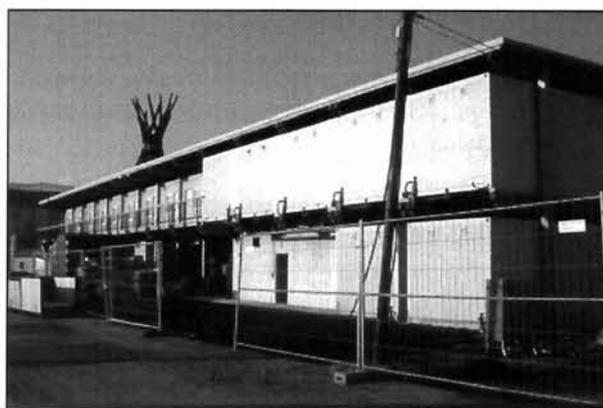


Figura 9.- Contenedores en entramado de madera, Hannover 2000.



Figura 10.- Construcciones auxiliares y de servicios, Hannover 2000.



Figura 11.- La flor de Venezuela, símbolo del pabellón.

### El pabellón de Venezuela

En junio de 1999, el arquitecto Fruto Vivas formuló la idea básica del Pabellón: "Una flor de Venezuela para el mundo". 8 Pétalos gigantes alrededor de un mástil central de 18 m de altura albergaban las plataformas de exposición. Se abrían -o cerraban- de acuerdo con las condiciones climáticas, para favorecer el acondicionamiento interior.

El carácter naturalista fitoforme de la cubierta imponía, no solamente la forma, sino también las características del movimiento, que debía semejar al de los pétalos de una flor. Por ello se decidió que la cubierta fuera una membrana textil soportada por una estructura ligera tubular de acero articulada, que se adaptase a las formas correspondientes a cada posición.



Figura 12.- Croquis inicial (junio, 1999). F. Vivas.

### Primeras aproximaciones

Las primeras aproximaciones no resultaron aceptables porque desfiguraban la idea original o planteaban problemas de ejecución.

La transcripción literal de la forma proyectada presentaba dos problemas prácticos. Por una parte, los pétalos plegables durante el movimiento incrementaban su tamaño al pasar por el ecuador y, además, en posición abierta, quedaban arrugados en el interior del perímetro formado por los perfiles de soporte.

Se planteó también la solución, ya conocida, de llevar hacia un solo punto alto central la totalidad de la cubierta (como había ensayado R. Taillibert en Cannes, Lyon, París y Montreal), así como la posibilidad de utilizar brazos retráctiles para arrastrar y soportar la membrana durante los movimientos de apertura y cierre y en la posición definitiva final.

José Felix Escrig, al que se consultó la viabilidad del proyecto, propuso la aplicación generalizada del mecanismo hidráulico de las retroexcavadoras, que proporcionaba los movimientos deseados. Se desestimó por la complejidad del sistema, junto con la dificultad para cubrir el espacio comprendido entre los pétalos.

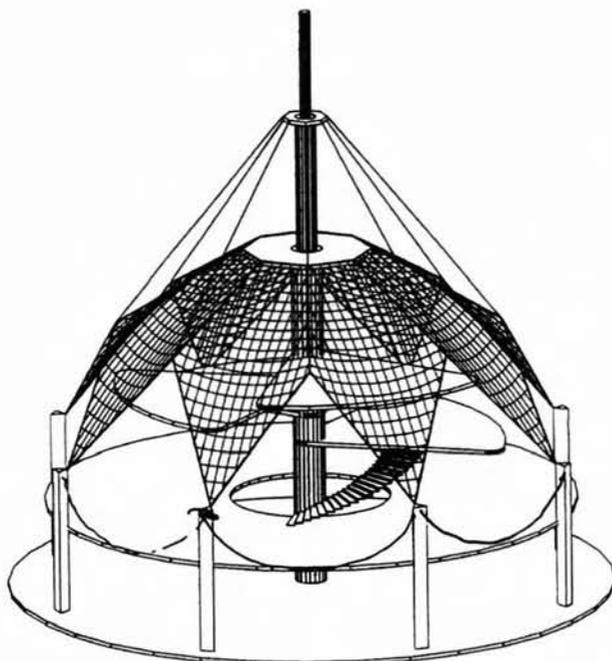


Figura 13.- Propuesta basada en la transcripción literal. Posición cerrada.

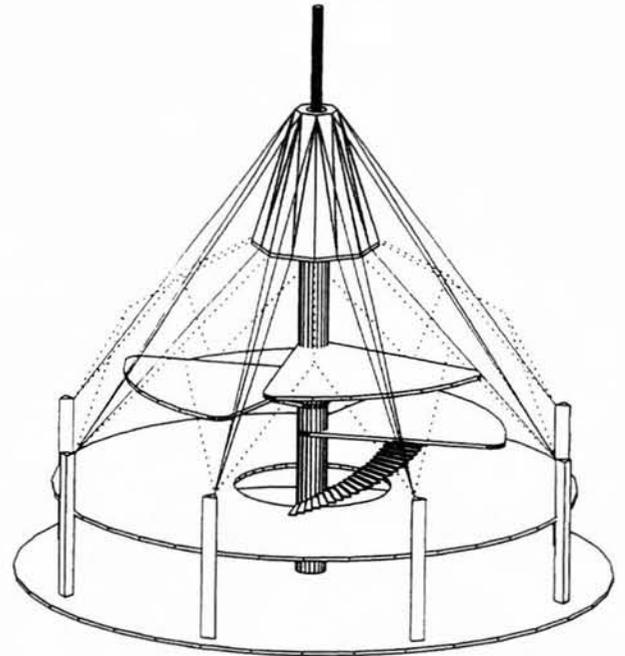


Figura 14.- Propuesta basada en la transcripción literal. Posición abierta.

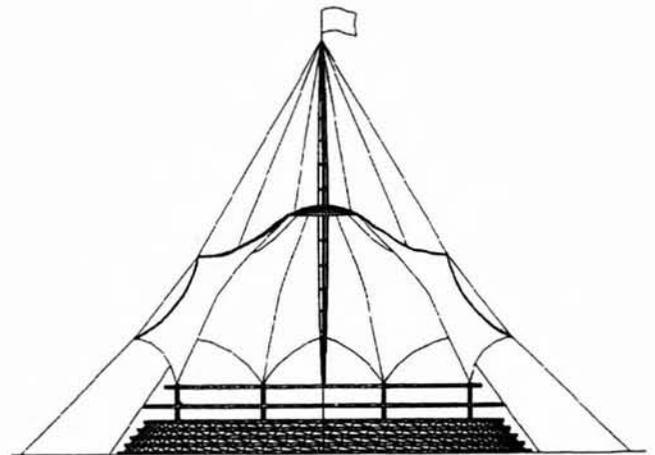


Figura 15.- Solución Taillibert cerrada.

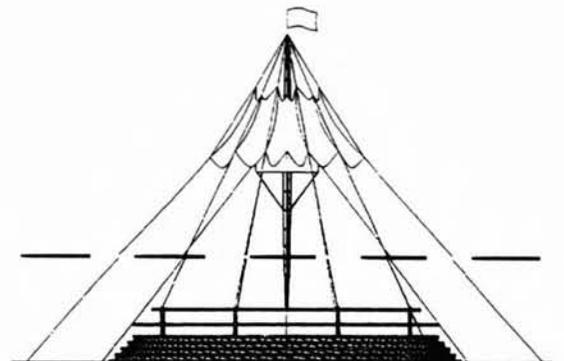


Figura 16.- Solución Taillibert abierta.

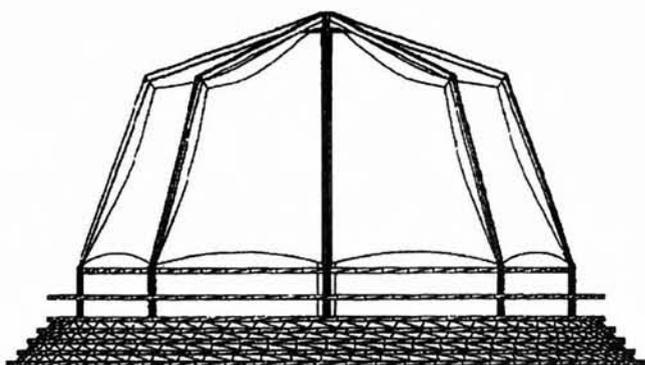


Figura 17.- Solución murciélago cerrada.

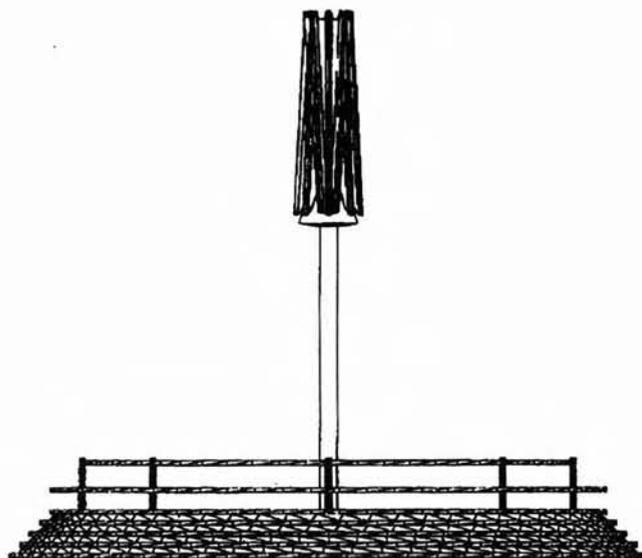


Figura 18.- Solución murciélago abierta.

### La solución adoptada

La solución definitiva adaptó el proyecto de Fruto Vivas a la tecnología disponible y las aportaciones constructivas del equipo pluridisciplinar internacional que participó en su desarrollo.

Es un edificio de contorno circular y 38 m de diámetro, organizado en planta baja, planta piso y cuatro plataformas, alrededor de un mástil central que contiene el ascensor y soporta la cubierta compuesta por 16 pétalos móviles, abiertos o cerrados, de acuerdo con las condiciones meteorológicas.

Allema de la EXPO "Hombre-Naturaleza-Tecnología" el pabellón de Venezuela responde exponiendo su biodiversidad y formalizando una solución ecológica adaptada a las condiciones ambientales, mediante los movimientos de apertura y cierre de los pétalos de la cubierta. Aprovecha la luz natural a través de la membrana traslúcida. Se ventila y refrigera sin mecanismos ni consumo energético, por el efecto convectivo del aire que circula a través de las jardineras escalonadas perimetrales hacia el capitel central.

Elimina los residuos producidos por la construcción porque está realizado en seco, con materiales recuperables y se puede desmontar sin producir contaminación.

El plazo total disponible (9 meses) no permitía desarrollar y experimentar soluciones completamente nuevas para materializar la idea del Pabellón, por lo que había que acudir a experiencias ya realizadas, como la que se había aplicado en 1992 a las sombrillas gigantes de la Medina. Además, para resolver los problemas asociados al plegado de la membrana, se decidió, a propuesta de Frei Otto, volar los pétalos desde el cáliz central, manteniéndolos invaria-

bles durante el movimiento, con la membrana fija y atirantada por la estructura de soporte tubular.

Con objeto de conseguir la impermeabilidad y mantener la dimensión de los pétalos aceptable para los mecanismos propulsores, se duplicó el número de pétalos y se solaparon, de modo que el pabellón se mantuviera completamente cubierto durante los cambios de posición. Y para agilizar la gestión, se subdividió el proyecto en dos partes: la cubierta formada por los pétalos, el capitel central y los mecanismos de apertura y cierre y el resto del pabellón formado por el mástil central, las plataformas de exposición y el cerramiento lateral. De este modo se consiguió, además, simplificar la planificación del conjunto, que pudo concentrarse en la coordinación.

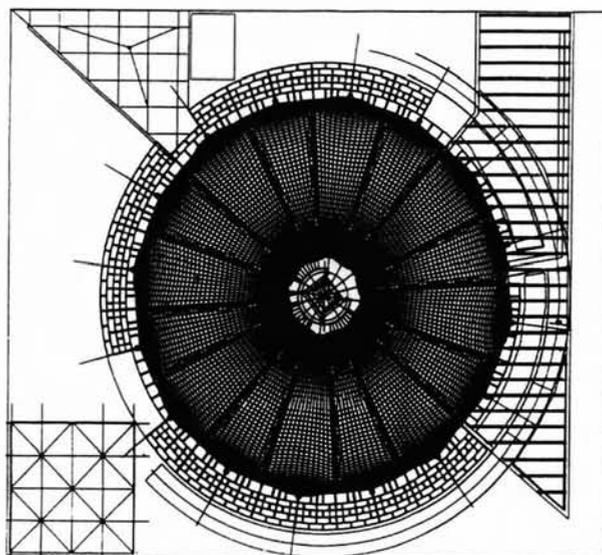


Figura 19.- Planta.

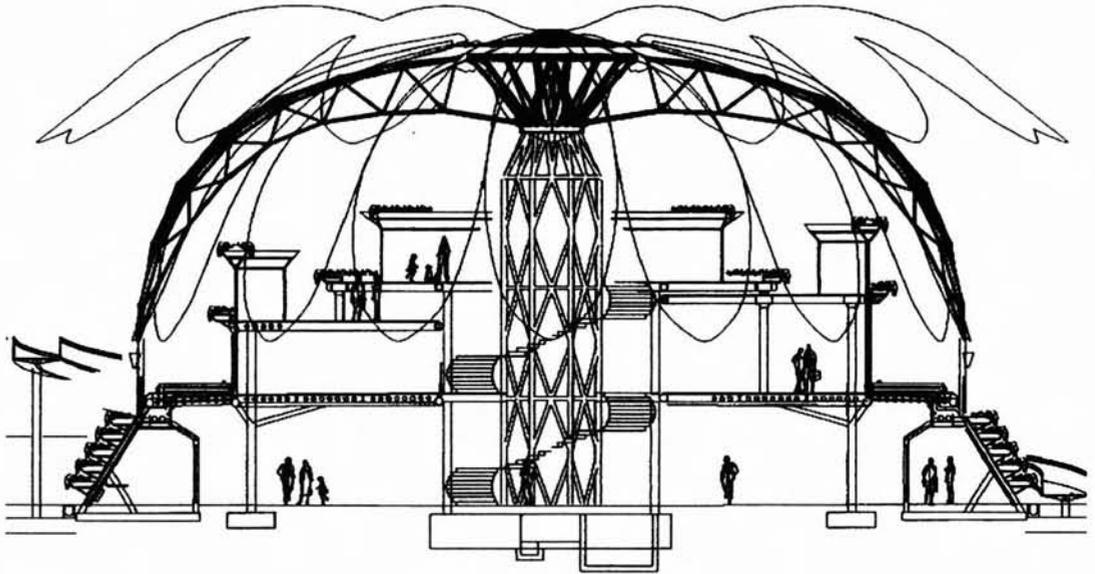


Figura 20.- Sección.

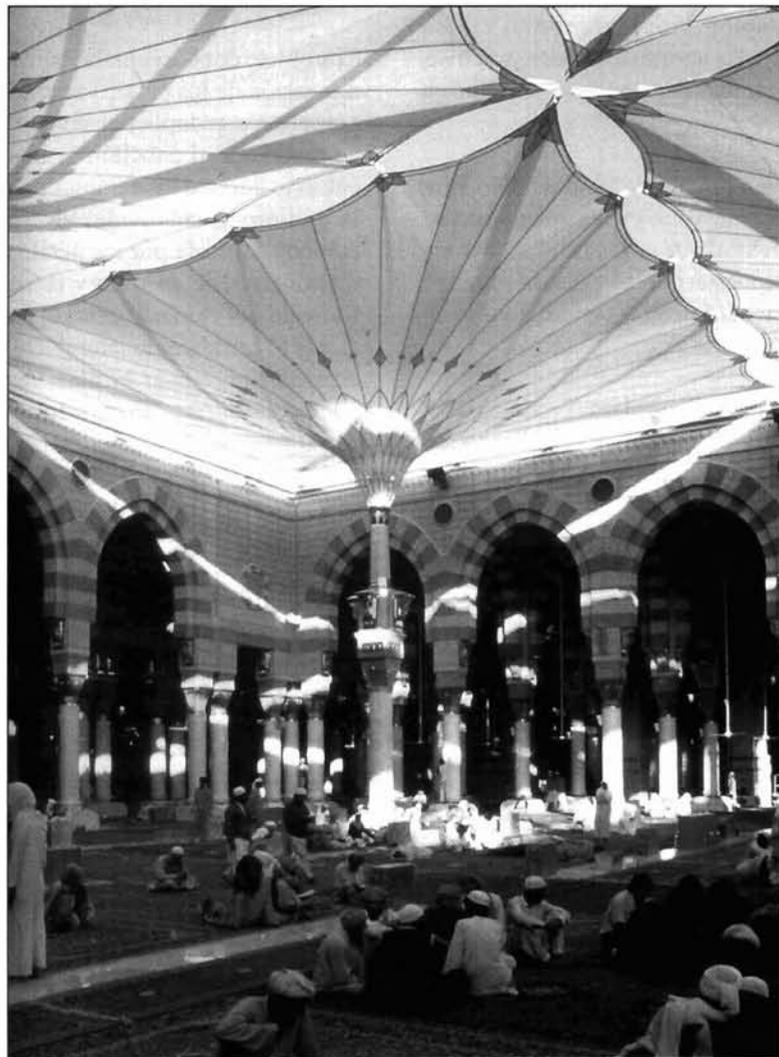


Figura 21.- Las sombrillas de la Medina. B. Rasch & J. Bradatsch, 1992.

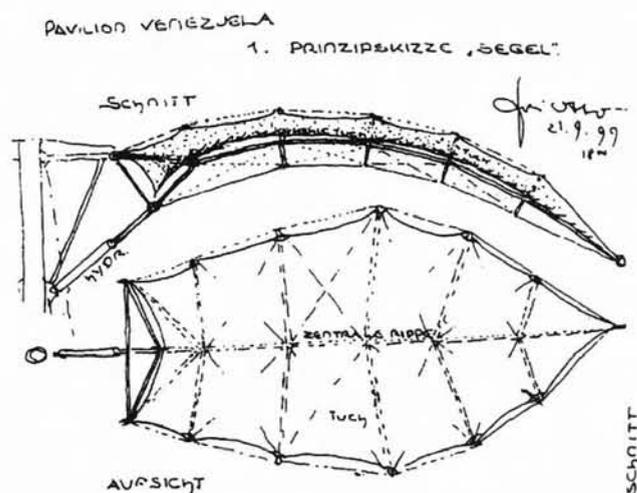


Figura 22.- El pétalo. Croquis F. Otto, 1999.

### El mástil central

El tallo de la flor es un mástil de 18 metros de altura en celosía tubular para aligerarlo y darle transparencia.

Se empezó tanteando una planta cuadrada compuesta solamente por cuatro montantes por facilidad constructiva y rapidez de montaje. Pero se acoplaba mal a la planta circular de las plataformas y complicaba la transición a los 16 pétalos de la cubierta. Por ello se optó por el octógono de 8 montantes, que se acerca mejor a la circunferencia y solamente hay que duplicar, de 8 a 16, para pasar al capitel.

Para su estabilidad, teniendo en cuenta que acumula la totalidad del viento sobre la cubierta, se contemplaron tres posibilidades.

La más ligera hubiera sido la solución atirantada desde el capitel hasta el perímetro del pabellón. Pero los tirantes inclinados hubiesen interferido con el uso, al atravesar las plataformas de exposición.

También hubiera resultado razonable arriostrar el mástil con las plataformas circulares, involucrando a toda la estructura del pabellón en la transmisión de los esfuerzos horizontales, por lo que se hubiesen tenido que proyectar y ejecutar simultáneamente.

Se optó, finalmente, por facilitar la estrategia de subdividir el proyecto en varias partes y reducir las interferencias, diseñando el mástil central autoportante e independiente, por lo que su anchura total aumentó considerablemente a 3,5 m y se pudo aprovechar para colocar el ascensor.

Hubo que arriostrarlo con diagonales laterales en la celosía del fuste para soportar la torsión que moviliza la asimetría de la acción del viento sobre la flor.



Figura 23.- Detalle del capitel.

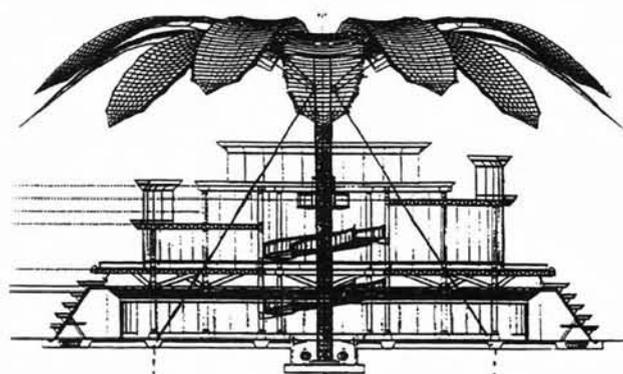


Figura 24.- Atirantado.

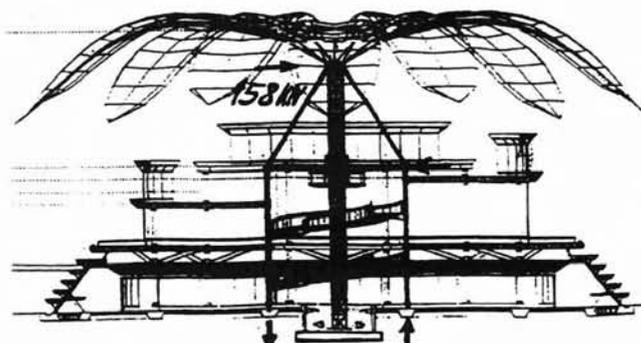


Figura 25.- El mástil apoyado sobre las plataformas.



Figura 26.- El mástil separado e independiente.



Figura 27.- La dimensión transversal del mástil permite alojar el ascensor.

### 3D Para el proyecto y la ejecución

Para el proyecto y la ejecución de la estructura espacial tubular se utilizó un programa de cálculo y dibujo en tres dimensiones. De este modo, no solamente se controló el aspecto y la geometría de todos los elementos, sino que se pudieron cortar los extremos de los perfiles tubulares, de manera que los acuerdos fuesen directos para evitar la utilización de cartelas en las uniones. Así, se aligera el aspecto de los nudos y se utiliza menos material.

Otra aplicación del modelo virtual 3D fue el estudio de las distancias entre las puntas de los pétalos en movimiento y la entrada de la rampa exterior, controlando el desagüe de la cubierta, la pendiente de la rampa y verificando que quedaba despejado el espacio necesario para el acceso peatonal.

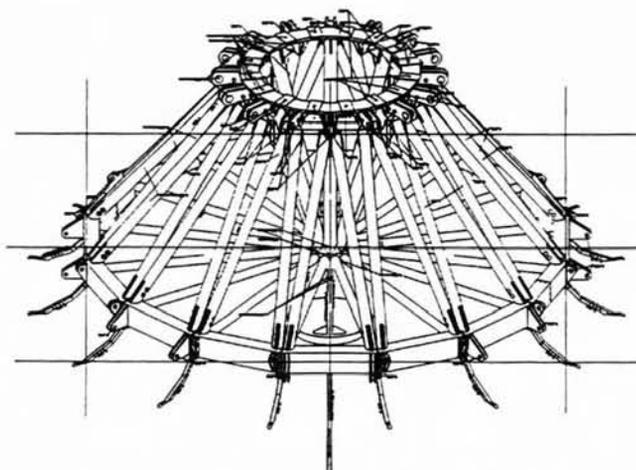


Figura 28.- El capitel proyectado en 3D. Stahlbau, Süssen.

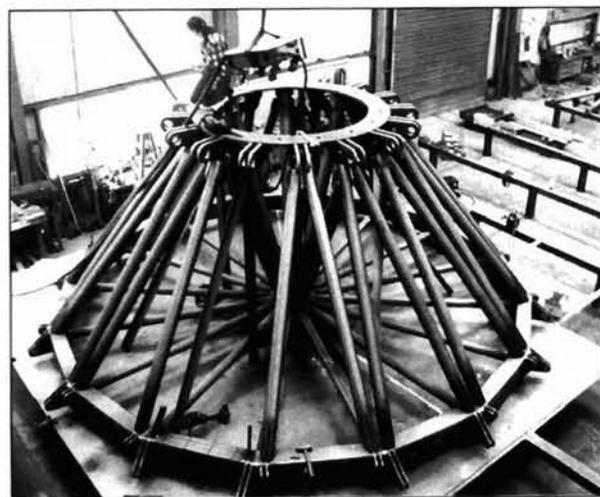


Figura 29.- El capitel en taller.

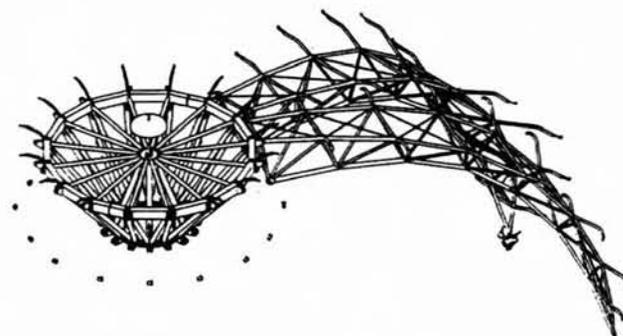


Figura 30.- El capitel y 2 pétalos proyectados en 3D. Stahlbau, Süssen.



Figura 31.- Tubo cortado siguiendo un acuerdo cilíndrico no coplanario.



Figura 33.- Entrada rampa.

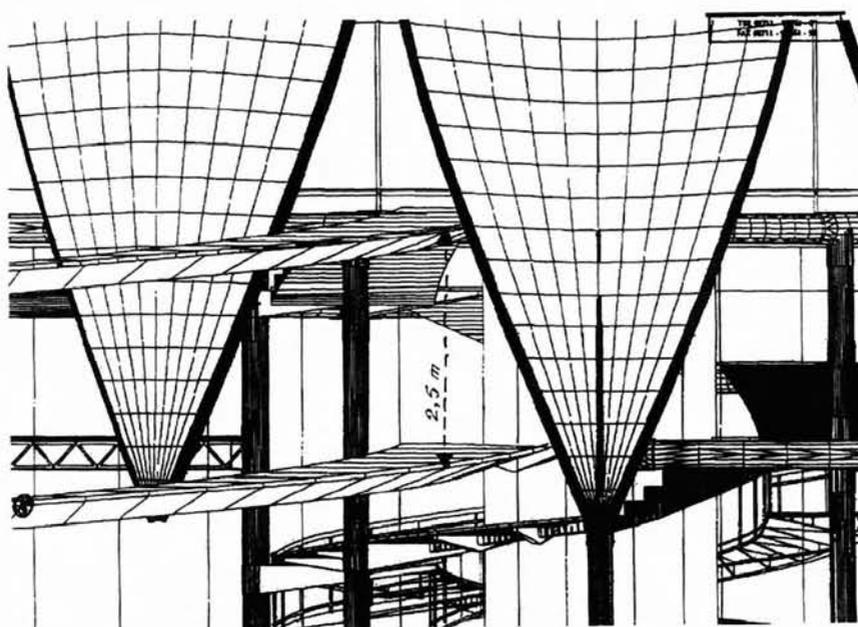


Figura 32.- Entrada rampa (proyecto).

#### Aligerar la estructura a través del detalle constructivo

El procedimiento de aligerar la estructura a través del diseño de las uniones y los elementos se aplicó también a los empalmes entre tubos estructurales y a los forjados de las plataformas. En los empalmes entre tubos estructura-

les, se machihembraron las uniones atornilladas en lugar de utilizar placas a tope rigidizadas con cartelas. Por otra parte, el forjado de chapa de acero de las plataformas se nervó mediante la misma chapa aligerada con alveolos circulares, evitando la colocación de correas o perfiles que hubiesen incrementado el peso total al duplicar innecesariamente los espesores.

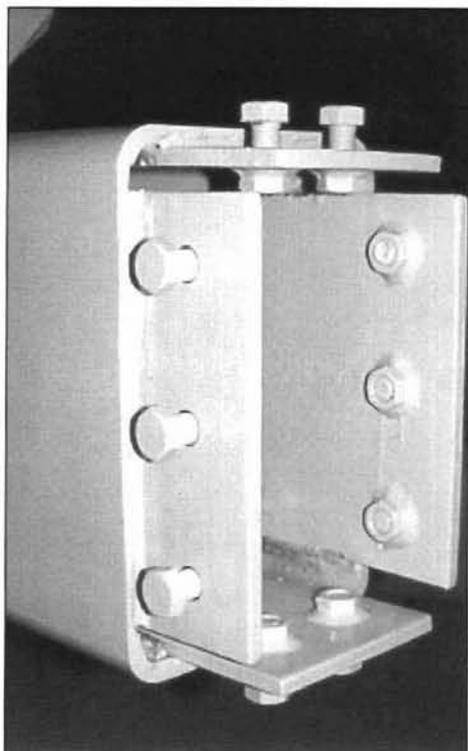


Figura 34.- Empalme machihembrado (macho).

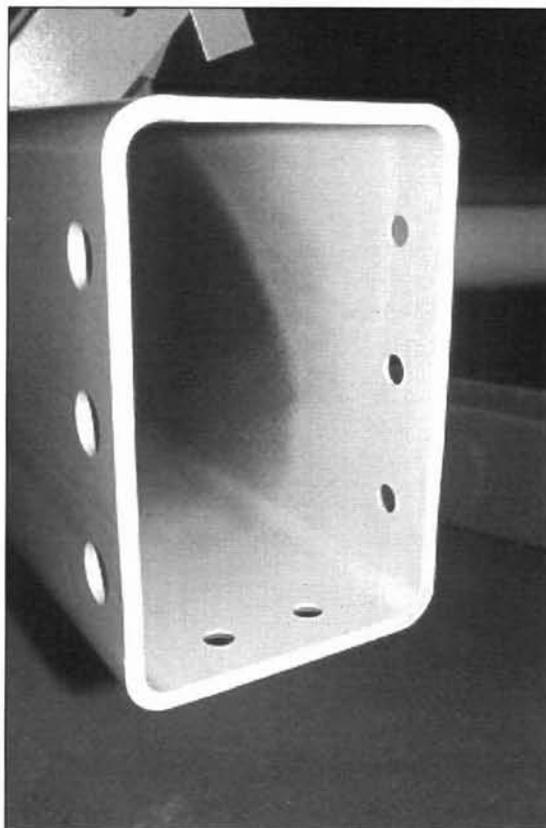


Figura 35.- Empalme machihembrado (hembra).

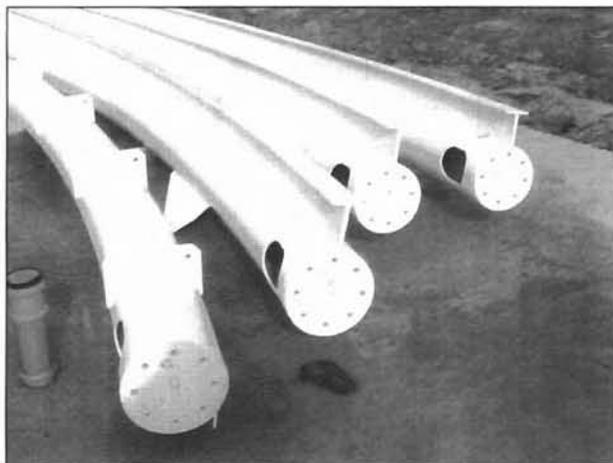


Figura 36.- Empalme atornillado a tope sin cartelas exteriores.

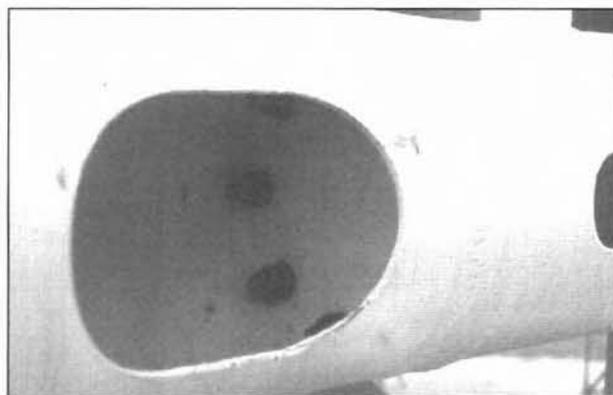


Figura 37.- Empalme atornillado. Detalle.

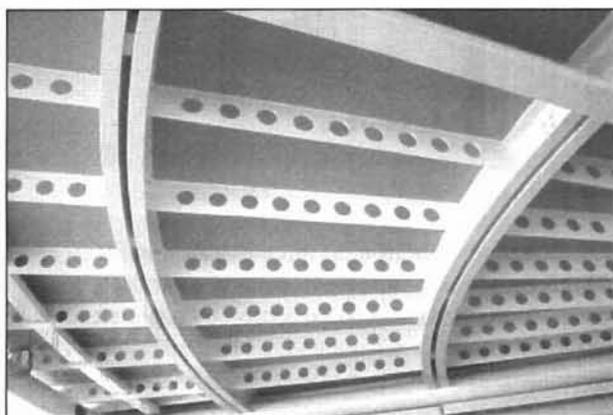


Figura 38.- Detalle forjado de plancha de acero.

### Los pétalos

La directriz de los pétalos quedó determinada por la altura libre necesaria para las plataformas superiores de exposición. Además, durante el proyecto de ejecución, se ensayó una maqueta en el túnel de viento que, junto con la aplicación de la normativa, proporcionó los valores a considerar para el cálculo de la estructura.

También facilitó el criterio de proyecto de la forma interior de los pétalos. Los 16 pétalos previstos se solapaban de manera que 8 cobijas convexas desaguaban

sobre 8 canales cóncavas. Sin embargo, el túnel de viento reveló que la cobija recibía mucha más presión que la canal, más aerodinámica, por lo que se decidió que todos los pétalos fuesen canales. De esta manera se consiguió, además, aligerar la estructura, puesto que la forma sinclástica de la cobija hubiese requerido apoyos interiores y la membrana hubiese actuado tan sólo como plementería impermeable.

Las canales, en cambio, al ser anticlásticas, no necesitan apoyos interiores, ya que las dos curvaturas opuestas permiten tensar la superficie desde el perímetro exterior, sin contacto con los tubos interiores.

El material utilizado para la membrana es un tejido de fibra de poliéster, que suministra la resistencia, revestido con cloruro de polivinilo, que le da la impermeabilidad, color y protección.

Se ensayó para determinar la resistencia biaxial así como la uniformidad de los resultados, eligiéndose finalmente el producto "Précontraint" de Ferrari (La Tour du Pin, Francia). Se caracteriza por haber sido pre-estirado

transversalmente con lo que se contrarresta la anisotropía trama/urdimbre del tejido convencional.

Para confeccionar los pétalos hubo que descomponer su superficie anticlástica no desarrollable en piezas planas de anchura no superior a la de la bobina de suministro, para soldarlas luego a lo largo de las costuras transversales.

Como se trata de una superficie que trabaja solamente a la tracción, debe ser pretensada, con objeto de contrarrestar las compresiones que se convertirían en arrugas. Por ello las sujeciones perimetrales son regulables. Estiran la membrana, mantienen la tensión y permiten recuperarla si se relaja por acción del viento, temperatura o deformación. La pretensión aplicada en este caso oscila alrededor de los 0,7 a 1 kN/m.

Para completar la imagen de la flor, se serigrafió a topos lilas la mitad de los pétalos, con objeto de reforzar su identidad. Se renunció a colorearlos para evitar efectos luminosos incontrolados a través de la membrana translúcida sobre los objetos expuestos.

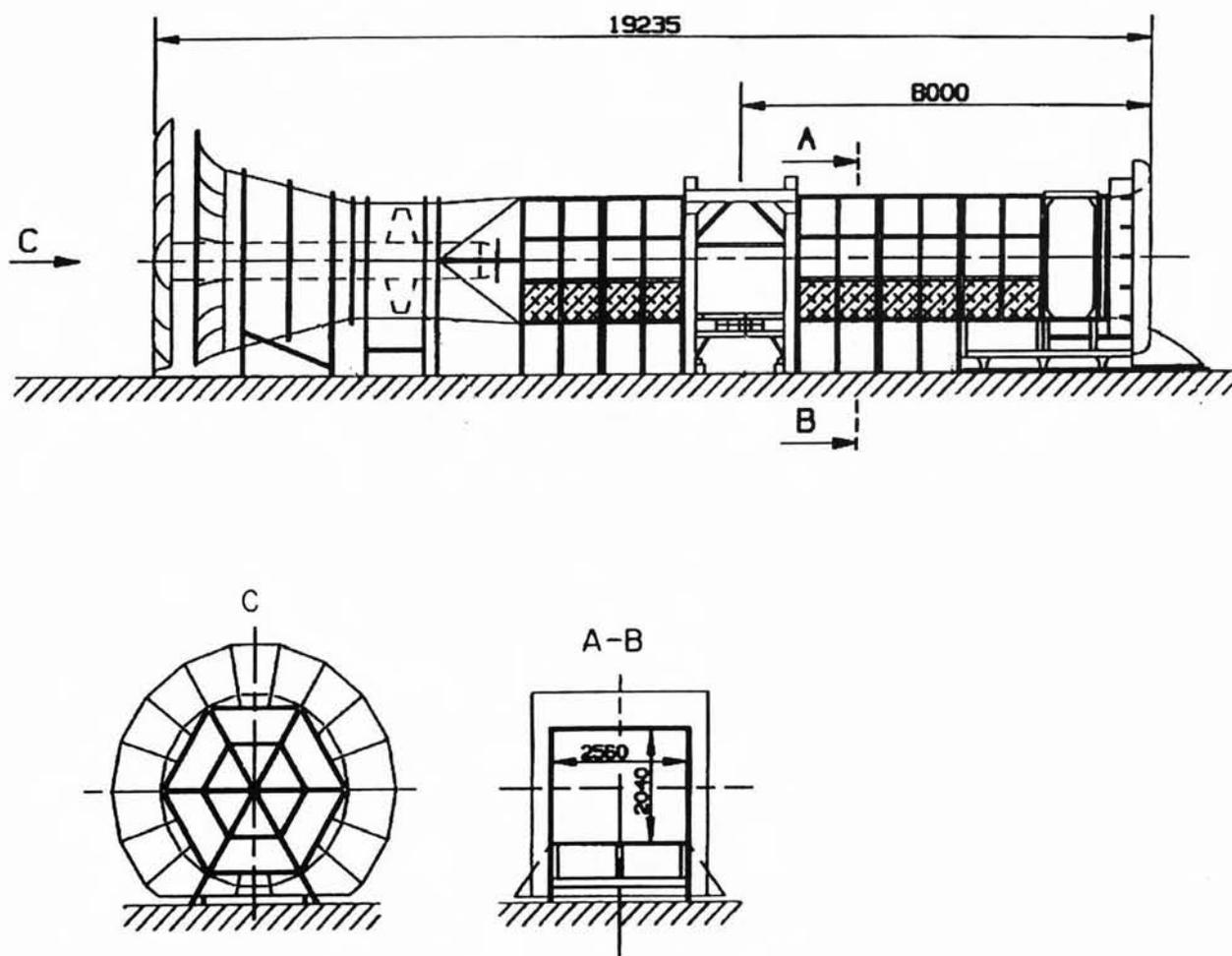


Figura 39.- Túnel de viento (Universidad de Stuttgart).



Figura 40.- Túnel de viento (Universidad de Stuttgart).

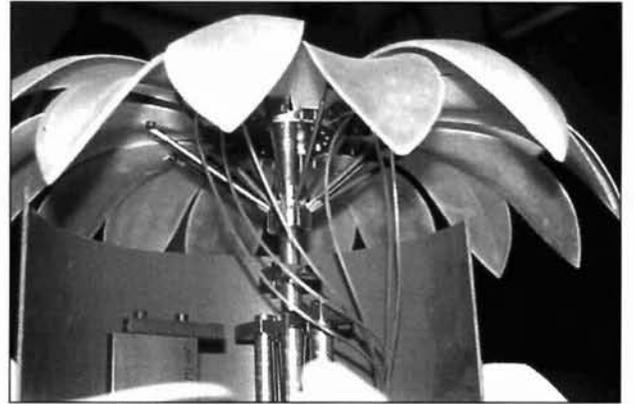


Figura 41.- Modelo para el túnel de viento..

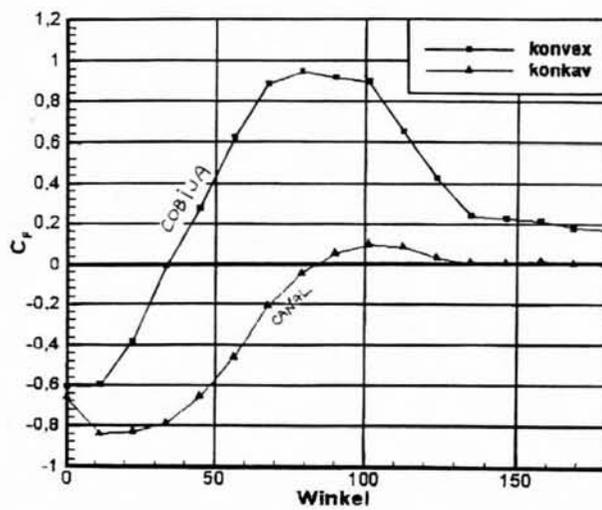


Figura 42.- Resultado del túnel de viento.

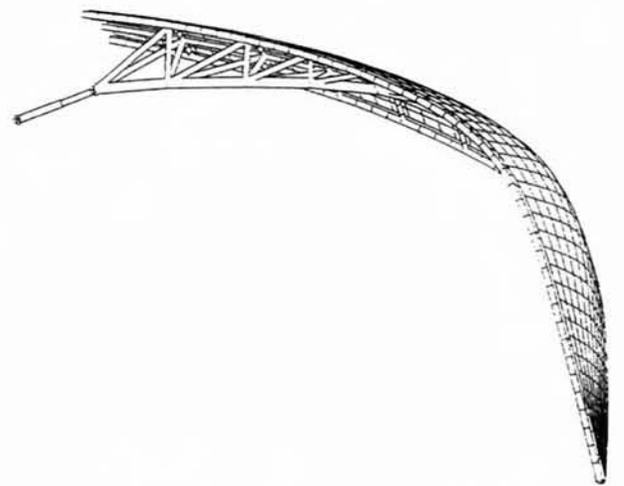


Figura 43.- El pétalo cobija necesita apoyos interiores.



Figura 44.- Ensayo de tracción biaxial (F. Vivas & F. Otto).



Figura 45.- Sujeción perimetral regulable de la membrana.

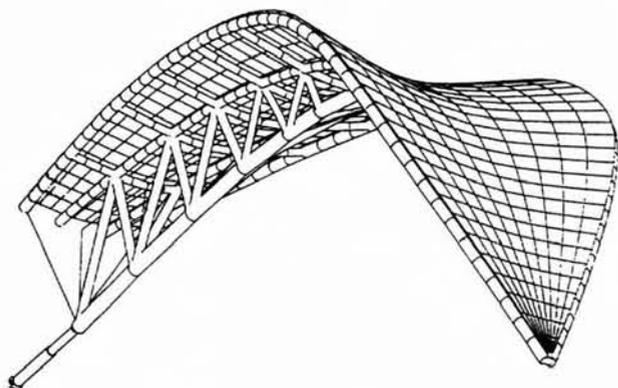


Figura 46.- La canal se tensa desde el perímetro.



Figura 48.- Montaje de la estructura del pétalo.

### El patronaje

La cubierta de los pétalos se confeccionó a partir de los patrones obtenidos de acuerdo con las dimensiones y la forma. Se comprobaron con la ayuda del programa informático EASY de Technet GMBH, que también determina la forma en equilibrio con las cargas y comprueba las tensiones.

El programa EASY utiliza una discretización inicial de la cubierta que la convierte en una malla. Obtiene una forma en equilibrio a partir de la matriz de barras y nudos, aplicando el método de la densidad de fuerzas. Después realiza el cálculo estático bajo las cargas externas asignando rigideces y comprobando la convergencia, las tensiones y las deformaciones. Para calcular el patronaje, traza líneas geodésicas y aplanla la superficie para obtener su desarrollo plano.

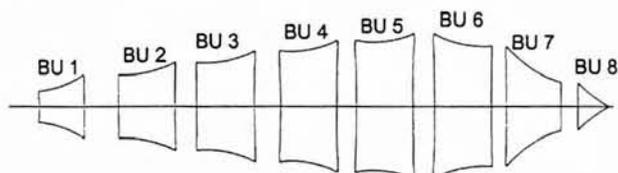


Figura 47.- Patrones del pétalo.

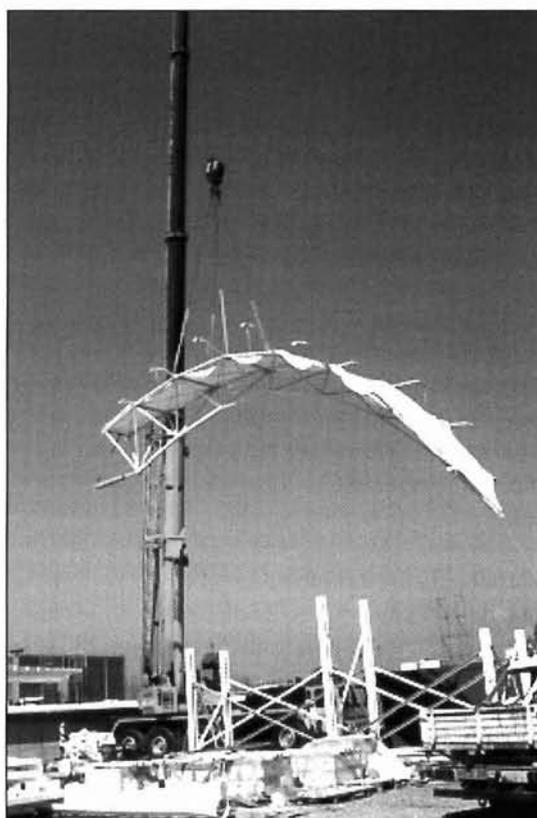


Figura 49.- Izado.

### Construcción de la cubierta

Para evitar las interferencias entre el montaje de la cubierta y la construcción del pabellón, se ensambló la estructura de cada pétalo a pie de obra sobre un bastidor auxiliar y se izó luego hasta su posición definitiva desde una grúa móvil exterior. Análogamente, el tensado de la membrana, que ya venía presentada sobre la estructura, se realizaba desde una plataforma articulada sobre camión.

La colocación de pasadores y tornillos resultó facilitada por las tolerancias que admiten las uniones articuladas destinadas a transmitir solamente esfuerzos axiales, evitando la flexión de las barras para optimizar el dimensionado.



Figura 50.- Tensado.

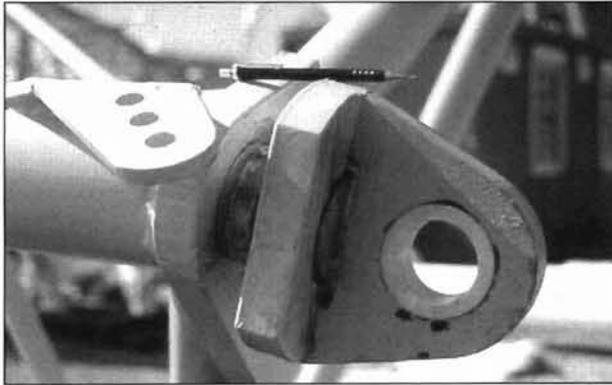


Figura 51.- Articulación entre pétalo y capitel.

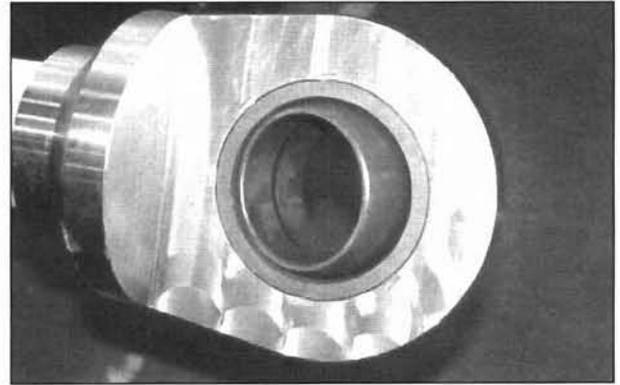


Figura 52.- Articulación de los extremos del cilindro hidráulico.

### El mecanismo de apertura y cierre

Para accionar el movimiento de los pétalos que vuelan 16 m y pesan 16 kN se recurrió a una serie de 16 cilindros hidráulicos sincronizados, de longitud y potencia variables, de acuerdo con la posición a adoptar, que tardan 90 segundos en cambiar de posición.

El viento considerado durante el movimiento de los pétalos es de 12 m/s=43 km/h. Moviliza en los cilindros 170 kN (85 bars) durante la apertura y 75 kN (62 bars) durante el cierre. Estos esfuerzos y presiones son distintos porque la superficie del émbolo es inferior al cerrarse, ya que la sección del eje propulsor disminuye la superficie transversal.

Con la cubierta fija, la velocidad del viento considerada es de 38 m/s=137 km/h que es el valor indicado por la norma alemana de viento. Moviliza en los cilindros 250 kN (125

bares) en posición abierta y 290 kN (237 bares) en posición cerrada.

La presión máxima suministrada por la bomba, a través de un circuito de aceite, es de 280 bares.

La cubierta cerrada podría, incluso, resistir la acción del viento prevista por la normativa sobre edificios permanentes sujetando el extremo inferior de los pétalos. Por ello, en previsión del uso que pudiera tener el pabellón después de la EXPO 2000, se proyectaron los ganchos de anclaje combinados con los embudos de desagüe.

Para la posición abierta del pabellón en su emplazamiento definitivo, el movimiento de cierre podría desencadenarse de forma automática mediante la señal proporcionada por un anemómetro, al producirse una velocidad del viento determinada, por ejemplo 10 m/s

POSICIÓN	PÉTALOS SUPERIORES	PÉTALOS INFERIORES
CERRADA	2.995	2.650
ABIERTA	3.995	3.650

Longitud de los cilindros hidráulicos (mm)

POSICIÓN	PÉTALO FIJO	PÉTALO EN MOVIMIENTO
ABIERTA	250 (125)	170 (85)
CERRADA	290 (237)	75 (62)

Esfuerzo en kN (presión en bares)

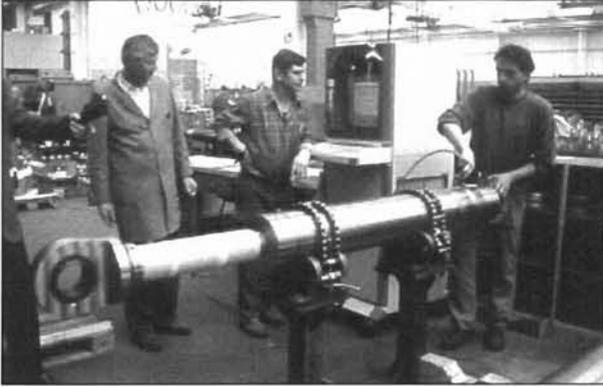


Figura 53.- Cilindro hidráulico.

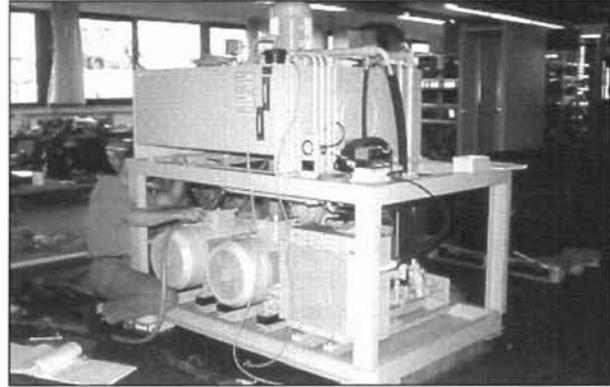


Figura 54.- Bomba de presión.

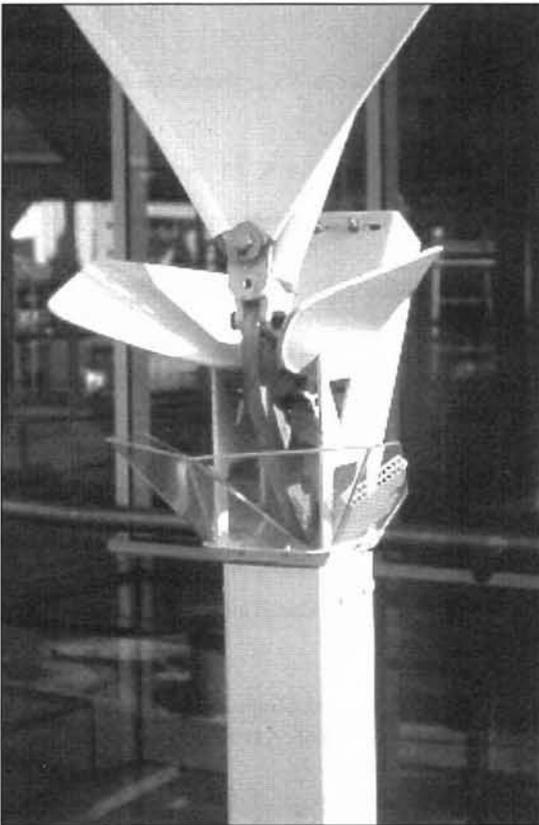


Figura 55.- Embudo/gancho de sujeción del extremo del pétalo.



Figura 56.- El pabellón en posición cerrada.



Figura 57.- Detalle pétalos, jardineras y cerramiento lateral.

## Conclusiones

El pabellón de Venezuela para la EXPO 2000 de Hannover ha contribuido al desarrollo de la construcción experimentando un edificio mejorado por la cantidad de material, el consumo energético y su relación con el medio ambiente.

Se ha construido en seco, utilizando los materiales necesarios para formar la estructura más eficiente bajo las condiciones del proyecto, el emplazamiento y la normati-

va. La cubierta móvil y traslúcida le ha permitido adaptarse a las condiciones climáticas aprovechando la luz natural y suprimiendo el consumo energético destinado al acondicionamiento interior.

Las uniones desmontables y los materiales reciclables completan la sostenibilidad del conjunto, que está previsto trasladar de Hannover a Venezuela para que siga siendo aprovechado después de la Exposición.

### Ficha Técnica

Promotor: República Bolivariana de Venezuela, Fundación EXPO 2000 Hannover.  
 Presidente: Gustavo Márquez, Comisarios: Saturno Rojas, Gonzalo Morales.  
 Ingeniero: Silvano González.

Arquitecto: Fruto Vivas, Colaboradores: S. Monteagudo y O. Guerrero, Caracas.

Planificación y organización: A. Neuenfeld, E. Clauss de Haack, Krüger & Partner GMBH, Hannover.

Coordinación de la cubierta móvil y proyecto de la cafetería: Ch. García-Diego, J. I. de Llorens & H. Poppinghaus de Arqintegral, Barcelona.

Proyecto y ejecución de la cubierta móvil: J. Bradatsch, B. Rasch, Gawenat & T. Elser de S.L., Rasch con Frei Otto del Atelier Warmbronn, Stuttgart y J. Young de Buro Happold, Londres.

Constructores: Arge Venezolanischer Pavillon EXPO 2000 Hannover: Empreiteiros Casals, S.A. (A. Araujo & P. Ramos). Braga y Philipp Holzmann, A.G. (Seifer, Otto & Geppert), Halle.

### BIBLIOGRAFÍA

(1) A. Calvo, 2000: "El Pabellón de Hannover". DADA, año 1, nº 2, julio, agosto, septiembre, p. 4-7. Grupo Editorial Relámpago, Caracas.

(2) A. Capasso, 1999: "Architettura e leggerezza". Maggioli Editore, Rimini.

(3) Ph. Drew, 1979: "Tensile architecture". Granada Publishing, London.

(4) J.F. Escrig & J.Pérez Valcárcel, 1989, 1990: "Conceptos básicos para el diseño y análisis de estructuras ligeras tensadas". Revista de Edificación nº 6, 8 y 11, p. 40 a 54 y 9 a 19. Universidad de Navarra, Pamplona.

(5) A. Gubitosi, 1993: "Architettura retrattile". L'ARCA nº 73, julio, agosto, p. 10 a 17. L'Arca Edizioni, Milano.

(6) C. Hernández & J.F. Escrig, 1994: "El pabellón de Venezuela en la EXPO 92. Una estructura desplegable en duraluminio". Informes de la Construcción, vol. 45, nº 429, enero/febrero, p. 61 a 69.

(7) J. Monjo, 1985: "La arquitectura textil". Informes de la Construcción, vol. 36, nº 367 enero-febrero, p. 5 a 30.

(8) J. Murcia, 1990: "Las estructuras a tracción y sus materiales". Hormigón y Acero, 1º trim., p. 121 a 133.

(9) B. Rasch & J. Bradatsch, 1994: "Umbrella roof in courtyard of Wasseraffingen Palace, Aalen" DETAIL nº 6, p. 806-809. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, GmbH, München.

(10) B. Rasch, 1995: "Architectural Umbrellas". Tensile structures. AD, London.

(11) S. Schanz, 1995: "Frei Otto, Bodo Rasch: finding form towards an architecture of the minimal" Axel Menges, Stuttgart.

(12) D. Sharp, 1996. "Santiago Calatrava". Architectural Monographs, nº 46. Academy Editions, London.

(13) F. Vivas, 2000: "Proceso en la EXPO 2000, Hannover". DADA, año 1, nº 2, julio, agosto, septiembre. Grupo Editorial Relámpago, Caracas.

(14) B.N. Wright, 2000: "It's a fab fab world". Fabric Architecture, sep./oct., p. 22-26. IFAI, Roseville, MN.

\*\*\*