

La firma Western **Wood Structures Inc.** de Tualatín (Oregón) está especializada en la realización de cúpulas con estructura de madera laminada. Hasta la fecha ha **realizado un** buen número de ellas en **EEUU, normalmente** destinadas a instalaciones deportivas.

La cúpula de Tacoma, Washington

*Por Francisco Arriaga Martitegui
Dr. Arquitecto de AITIM.*

Hasta hace poco, este tipo de cúpulas sólo eran acometidas utilizando hormigón armado y acero. Sin embargo desde los ochenta **WWS** ha desarrollado un sistema a base de madera que **compite en precio y prestaciones con** estos otros materiales. **En efecto con este sistema,** aparte de la mejora en nivel estético por la calidez que proporciona la madera, se eliminan los gastos de mantenimiento de la estructura.



El 12 de junio de 1991 se visitó la **cúpula** de madera laminada **construida en Tacoma,** Washington. Edward Fitzgerald, director de ventas de la empresa **Weyer Hauser** que **suministró las piezas** de madera laminada. **dirigió** la visita e hizo una presentación sobre la construcción de la cúpula. **Weyer Hauser** es una de las primeras empresas en la **fabricación** de madera laminada en EEUU (produce anualmente 22.000 m³. Fitzgerald fue el responsable de la gestión de la adjudicación de la obra y el coordinador entre el **proyectista** y la propiedad.

La **cúpula de Tacoma** es la mayor estructura de madera laminada en el mundo (**después de otra** cúpula similar que ha sido construida recientemente en EEUU y que tiene una luz 2 pies mayor que la de Tacoma). El **diámetro** de la planta circular es de 161,5 m. La **altura desde** el arranque de la **cúpula** a la **clave** es de 33,5 m. La bandera sobre la **ve** tiene 16,5 metros de altura (**el mástil ha sido realizado también** en madera laminada).

La construcción se **realizó** desde el 1 de julio de 1981 hasta el 21 de abril de 1983. (La cubierta propiamente se construyó en un **período** de 6 meses).

Solución del nudo con piezas metálicas exagonales.
Se trata de una **unión semirrígida.**



El edificio tiene carácter multiuso: desde fútbol europeo o rugby pasando por baloncesto, patinaje sobre hielo, hasta conciertos musicales. La capa de hielo se conserva permanentemente y se cubre con una enorme plancha **deslizable** acabada en parquet.

La flexibilidad de uso viene favorecida por la forma de la construcción y **por el tipo de graderíos**, que son móviles. La capacidad **es muy variable dependiendo del tipo** de espectáculo y del número de gradas incluidas. Así, para el caso de ausencia de gradas la capacidad **máxima** es de **200.000 espectadores**; y si se **incluyen** las gradas se reduce a **75.000**. La capacidad **media para espectáculos** convencionales varía entre **25.000** y **30.000** espectadores sentados.

El coste total de la construcción **fue de 35 millones de dólares**, siendo **el coste de la estructura la mitad del que se presupuestó** en acero.

CONSTRUCCION:

El sistema constructivo consiste en anillos sucesivos formados por módulostrangulares con leve curvatura, que a **su vez están** contruidos con piezas de madera laminada de Pino Oregón con una longitud de **12,2 a 14,9 m** (40 a 49 pies). El tamaño de estas piezas **no sobrepasaba** las dimensiones de los camiones **estandar** americanos; debe tenerse en cuenta **que** el transoone desde **fábrica supone** una distancia de 350 millas por carretera.

En el montai se **emplearon** cinco **postes** de madera como apeo auxiliar; hasta completar cada anillo. Un anillo ya terminado es una estructura estable.

Para cubrir el espacio **del vano** de cada triángulo principal se utilizaron correas de madera laminada. Sobre **éstas** se disponía un entablado machiembrado de Pino Oregón.

La cúpula está compuesta por 288 módulos triangulares principales, formados por piezas principales de madera laminada de **5.000** libras de peso cada una, estas piezas junto con las correas que cubren el vano triangular suman 19.200 piezas de maderalaminada. En volumense utilizaron 900.000 pies **tablares** (2.123 m³) de madera laminada y **700.000** pies **tablares** (1.652 m³) de madera aserrada para el entablado de cubiena.

Los obreros trabajaban en equipos de dos hombres. Uno por encima del anillo **tensor** y otro, dentro de una **jaula suspendida** desde una guía. La jaula disponía de un electrogenerador para el uso de aprietatuercas neumático. Cada viga disponía de una serie de **peldaños** formados portablas clavadas a las vigas principales, separados 50 cm para facilitar el trabajo de los operarios en altura. **Después** de la instalación **debían** retirarse.

Para el replanteo de la obra se utilizó un sistema de medidas por láser, dada la complejidad del entramado y de la necesidad de precisión en el montaje.

Después de la **construcción** se comprobó que el plomo de la clave **sólo** tenía un error de **1/2** pulgada.

El panelizado de la cubiena lleva simplemente pegado por el interior una **manta** de vidrio de color blanco lo que provee deficiente aislamiento y conveniente reflexión de la luz. La **impermeabilización de la cubierta se resuelve** con una pintura proyectada en tres capas de uretano, pero con un espesor total **muy pequeño** (2 a 3 mm) y en un color azul degradado



hacia la cúpula. Bajo esta capa se encuentra una **lámina bituminosa**. Los **propietarios** del **pabellón** sostienen **que** la resistencia a la **transmisión calorífica** es mayor que la de los **refrigeradores** caseros. Las condiciones **acústicas** se consiguen mejorar con elementos superficiales absorbentes del sonido situados en la corona que sustentala cúpula. **además** de la contribución de la madera, el aislante y los propios espectadores. Buena prueba de la buena sonoridad de la sala es el hecho de la realización de grandes conciertos (Bruce Springsteen y Michael Jackson en **1988**).

SOLUCION CONSTRUCTIVA DE LOS NUDOS.

En estas estructuras uno de los principales problemas son las **uniones**. En **es:a** construcción se realizaron con piezas **metálicas** en forma de prismas de base hexagonal con un **peso de 450 Kg**. Las piezas de madera que **llegan** al nudo quedan unidas mediante llantas **metálicas** que abrazan a la pieza en sus extremos. Estas llantas se conectan a la madera con pernos (sin incluir **conectores**).

Este tipo de unión **permite** transmitir las tracciones y compresiones de la **flexión**. En realidad **se trata de una** unión semirrígida. Para conocer el grado de rigidez se realizaron ensayos que arrojaron un valor de rigidez de un **95%**. Sin embargo, en los cálculos se utilizó la hipótesis conservadora de suponer un grado de rigidez del **50%**.

CALCULO

La **WWS** emplea un programa **informático** de **cálculo** muy completo lo que le permite reducir costos de **ingeniería** y

tiempo de **cálculo**. Para el caso de cúpula de Tacoma se utilizaron 37 combinaciones de hipótesis diferentes. Una de ellas consistía en la eliminación de una pieza cualquiera. Además de la **cargas** habituales de peso propio, nieve y viento, se consideraron cargas puntuales de 1 tn en los nudos de la **estructura**.

La **estructura** sometida a los esfuerzos horizontales del viento sufre deformaciones y **desplazamientos** aue en días muy ventosos pueden ser percibidas por los espectadores.

En relación a las deformaciones verticales se Cuenta con la experiencia de mediciones que se **efectuaron** en **otra** construcción similar en la que se preveía por **cálculo** o considerando la **nieve**, una **deformación** de 9 pulgadas.

Al efectuar la **medición** real en un día con la misma cantidad de nieve se **observó que sólo** alcanzaba 1/2 pulgada.

La explicación de esta diferencia estd en la consideración de la **hipótesis** conservadora de rigidez de las uniones (50%) y **también** en no considerar la colaboración del entablado de cubierta.

PROTECCION CONTRA EL FUEGO

La instalación de **protección** contra el **fuego** se soluciona con una **red** de rociadores de **agua automáticos** que **se** disponen en la cubierta alcanzando únicamente los dos primeros anillos de la cúpula. Su cálculo se ha basado en la **obtención** del tiempo de evacuación necesario para el local.

Con el pragmatismo propio de los americanos no se ha contratado una póliza de seguros por este concepto. Les resulta más rentable alquilar los servicios de coches de bomberos cada vez que se realiza un acto en el pabellón.



Arranque de las vigas desde la corona de hormigón. **Sprinklers** de protección al fuego.

Los graderíos son deslizantes. Se suspenden de las vigas instalaciones auxiliares de sonido e iluminación.