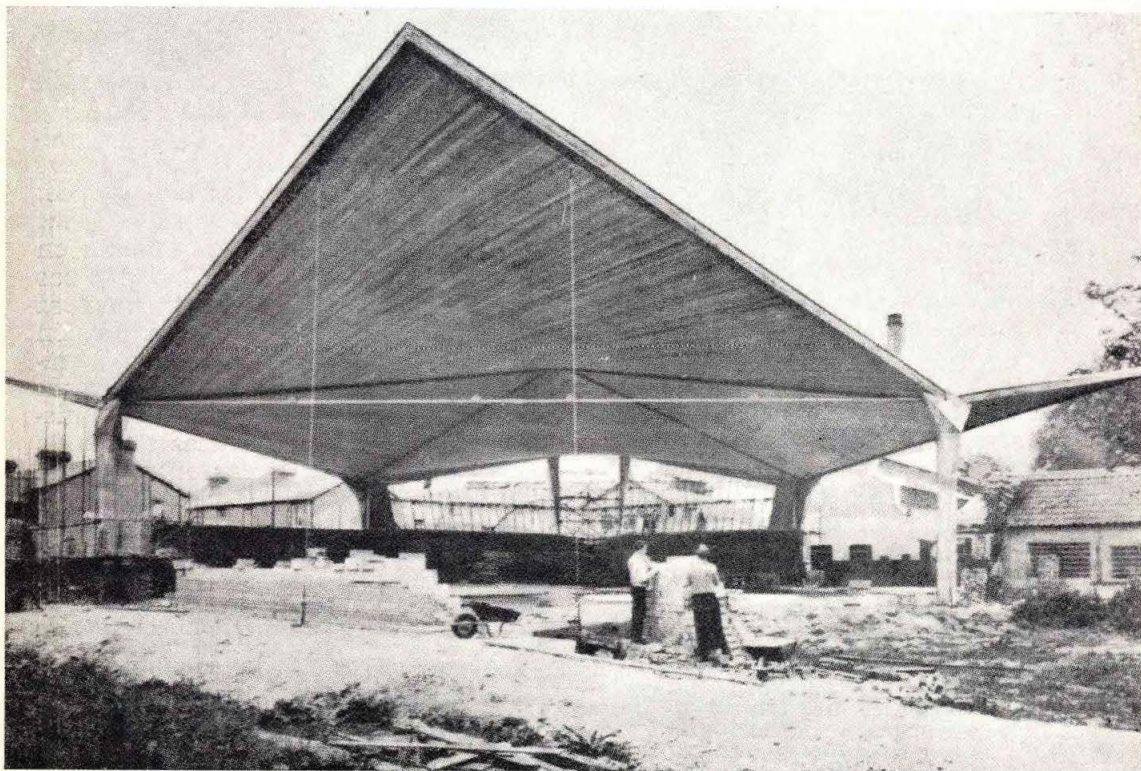


# CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS LAMINARES EN MADERA EN GRAN BRETAÑA

H. TOTTENHAM, M. A.

Publicada en "Bulletin of the international association  
for Shell Structures" Nº 7. (Traducción de I. Román)



Paraboloide hiperbólico construido para la Fábrica de alfombras Wilton.

## S U M A R I O

Desde hace dos años Gran Bretaña ha tenido un desarrollo considerable en la construcción de estructuras laminares en madera. Esto se debe principalmente a su bajo costo y a la simplicidad de su ejecución.

En este artículo se describen las siguientes láminas en madera.

- 1) Seis construcciones con paraboloides hiperbólicos de 6-20 m. de luz.
- 2) Una estación con Conoides y láminas cilíndricas en voladizo.
- 3) Dos láminas cilíndricas de 12m - 30m de luz.
- 4) Una semi-cúpula esférica de 25m de diámetro.
- 5) Una bóveda cilíndrica de planta cuadrada de 20m de luz.

Al final se señala, la economía de estos diferentes tipos.

### *Introducción:*

El primer ejemplo de una cubierta de este tipo fue terminado sólo hace dos años y desde entonces se han completado otros doce ejemplos y otros tantos están en construcción.

La razón principal para este rápido desarrollo es, sin lugar a dudas, económica. El costo de la lámina de madera ha sido, en todos los casos, menor que el costo de la obra equivalente de hormigón y en muchos casos ha sido menor que cualquiera otra forma de construcción, aún en luces reducidas. La estética ha jugado también sin duda, algún papel en el aumento de la demanda para este tipo de construcción.

A continuación se describen varias de las estructuras laminares hasta ahora erigidas.

#### *Láminas paraboloides hiperbólicas:*

1.—Fábrica Wilton Royal Carpet Ltd., en Wilton, Wiltshire.

El primer ejemplo de construcción de una estructura laminar de cubierta en madera en este país fue para una ampliación de la Wilton Royal Carpet Factory Co. Ltd., en Wilton, cerca de Salisbury. La cubierta tiene una luz libre de 35 x 35 m y consiste en cuatro unidades de paraboloides hiperbólicos, cada una de 17,6 m de lado. La pendiente de los lados de la unidad es aproximadamente 1:5 lo que da una altura de 1,80 m. a lo largo de la diagonal. Cada unidad se apoya en sus dos esquinas bajas. En cada pilar confluyen apoyándose, dos unidades.

Cada unidad, de lados iguales, que consta de vigas de borde, lámina y tirante, era auto-soportante excepto para cargas no uniformes y fue construida separadamente. Las vigas de borde fueron prefabricadas y formadas de dos partes, cada una de 25,4 x 15 cm. que fueron unidas al lado inferior y superior de la lámina. Las vigas, aunque rectas en el sentido de su longitud, tienen en total un giro o torsión de 24 grados. Esto se conformó durante la fabricación al colocar las láminas sobre una serie de cuñas, cuyas caras superiores tenían diferentes ángulos respecto a la horizontal, antes de ser afianzadas con

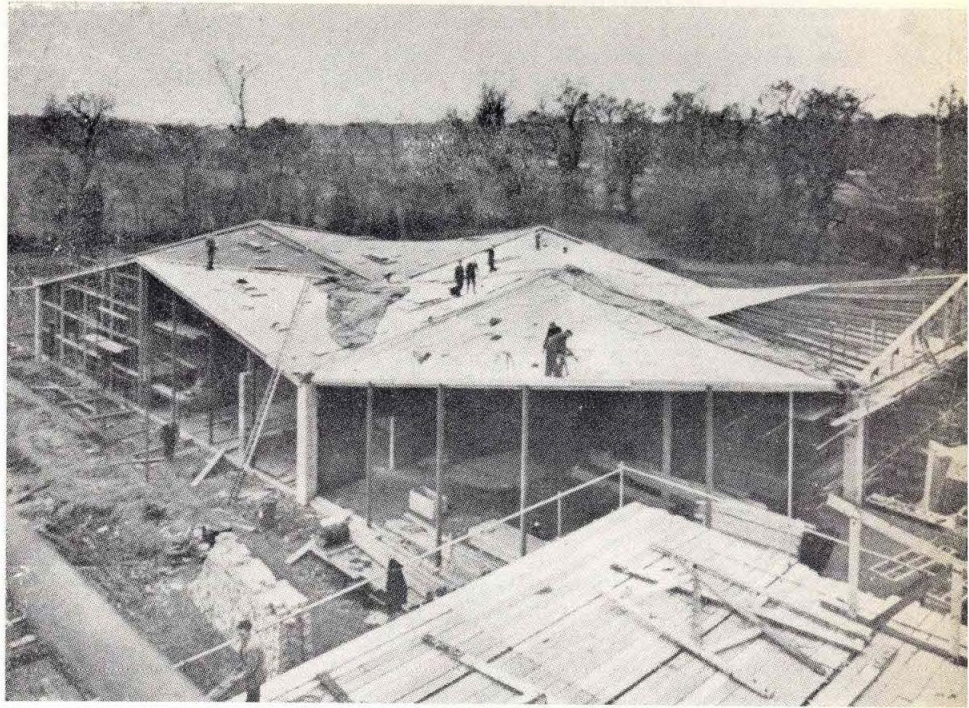
presas. Las mitades superior e inferior de cada viga se hicieron simultáneamente con el mismo sistema para asegurar un completo ajuste.

Se constató que, en algunos casos, hubo una pequeña reversión cuando las vigas se sacaron de las presas, alrededor de 1,5° y fue reducida al ángulo correcto por las tablas de la estructura laminar durante la construcción. Las esquinas altas se juntaron a "inglete", simplemente, mientras que las esquinas inferiores se unieron con inglete y rebaje para alojar las planchas de anclaje del tirante.

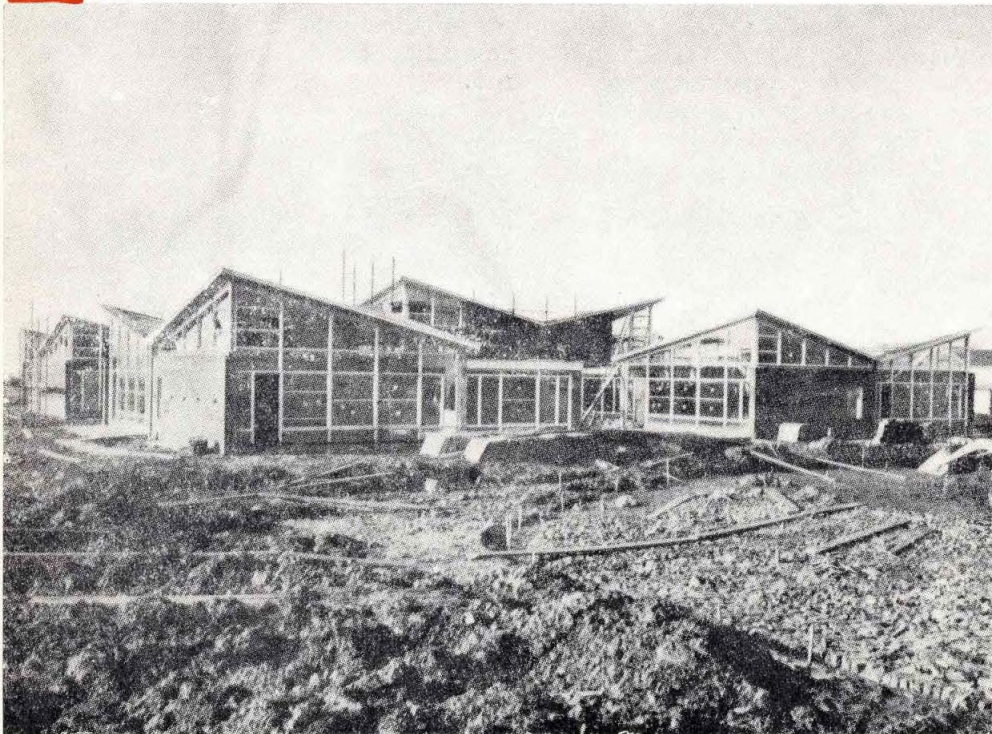
La lámina misma consiste en 3 capas de tablas de 1,8 cm. (3/4") nominal, machihembradas. Estas capas fueron colocadas con las tablas superiores e inferiores en el sentido de las generatrices y la capa intermedia en diagonal, paralelas a la que une las dos esquinas bajas. De esta manera las capas exteriores están en tensión y la capa intermedia está comprimida. Las tablas se colocaron sobre un alzaprimado de tubos de acero, distanciados 60 cm. a eje. Las tablas de cada capa fueron unidas entre sí con corchetes gruesos (grampeado) para facilitar la construcción. Se descubrió que alrededor de media docena de corchetes en los extremos de cada tabla era suficiente para mantenerla en su lugar. Ocasionalmente se pusieron clavos en la segunda capa para mantenerla sujeta hasta que se fijara la tercera capa, y entonces se colocaron clavos a distancias de 10 cm. a través de toda la lámina y hasta 3 mm de su cara inferior. Se permitieron en la lámina algunos empalmes ocasionales por cabeza teniendo en cuenta que las juntas de tablas adyacentes estuvieron a distancias mayores de 90 cm. entre sí.

Las tablas fueron encoladas y clavadas a la parte inferior de la viga de borde. Una faja alrededor del perímetro de cada lámina de 1,80 m. de ancho fue también encolada y clavada para obtener rigidez adicional en los bordes. La parte superior de la viga fue encolada y atornillada a la cara superior de la lámina directamente sobre la parte inferior de la viga.

Con el objeto de asegurar flechas



Paraboloides para la firma John Rannocks Ltd. Haughley Park.  
Paraboloides hiperbólicos de madera para una escuela en Ipswich.



iguales en las vigas de borde contiguas y para soportar cargas no uniformes, aquéllas permanecieron apoyadas hasta que se terminara la lámina contigua y las dos vigas de borde adyacente unidas entre sí con dos láminas de 3 mm. de madera terciada clavadas a las superficies superior e inferior de las vigas antes de retirar los apoyos (alzaprimas). Los tirantes eran de acero dulce, para evitar un alargamiento excesivo bajo carga, y se usaron barras de 6 cm. de diámetro. Estos eran mayores de lo necesario pero se podían obtener de bodega (stock). Se suspendieron del techo mediante simples soportes colgantes.

Como la cubierta es muy liviana, pesa aproximadamente 25 Kg/m<sup>2</sup>, fue necesario disponer, pernos de anclaje en los pilares de hormigón armado, y también disponer amarras ancladas en bloques separados de hormigón hacia las esquinas altas de la cubierta. La estructura fue cubierta con tres capas de fieltro bituminoso, de las cuales la última capa tenía un remate de gravilla. La cara inferior de la lámina se cubrió con dos manos de barniz claro P. V. A., aplicado con pistola.

Esta cubierta fue construida mediante labor directa bajo la supervisión de la dirección de la Wilton Royal Carpet Company.

## 2.—Fábrica en Haughley Park, Suffolk.

La construcción de la cubierta laminar en madera para los Srs. John Ramnock e Hijos Ltd., Haughley Park, Suffolk, es similar en general a la de Wilton, descrita anteriormente. La primera etapa de la construcción, ya terminada, cubre 2.400 m<sup>2</sup>. La segunda etapa, la cual está en construcción, cubre otros 750 m<sup>2</sup>, y la fábrica cubrirá con el tiempo 5.200 m<sup>2</sup>. La cubierta consiste en unidades de paraboloides hiperbólicos de 13.7 m por 13.7 m en planta.

La construcción difiere de la de Wilton, sin embargo en algunos detalles.

En primer término el andamiaje se simplificó considerablemente.

Se levantó un ligero entramado tubular a una altura aproximada de

60 cm. bajo el punto de menor altura de la cubierta. Este entramado fue cubierto con tablonés para proveer de una plataforma de trabajo. Se construyó después un ligero moldaje guía de madera que consistía en entramados de madera prefabricados colocados a 3,30 m. a eje y sobre ellos vigas de madera separadas 6.60 m. entre sí. Los elementos del moldaje guía fueron pre-cortados y escopleados para lograr el mínimo trabajo en obra, y la colocación automática, en su posición correcta, de las vigas de borde.

Los tirantes fueron barras "Macalloy" de alta resistencia, suspendidas desde la cubierta en tres puntos. En un caso se usó un tirante especial de acero dulce para conseguir un espacio de trabajo extra sobre una planta frigorífica. Este tirante fue realizado con dos cables distanciados 1,80 m. en la losa que cubre el frigorífico, de tal manera que si bien la altura total estaba limitada por el tirante, el espacio era utilizable.

La cubierta estaba sustentada por pilares prefabricados de hormigón armado y las aguas lluvias se canalizaron por tubos de asbesto cemento colocados en el interior de los pilares.

Después que se completó el entablado de cada unidad la cubierta fue agujereada con veinticinco aberturas cuadradas de 46 cm. de lado para proveer de luz natural. Estas aberturas fueron guarnecidas con tablas de 1,9 x 7,5 cm. En algunos casos había también aberturas para ventiladores de 1,20 x 0,45 m. Estas se encontraban siempre entre dos perforaciones para luz y necesitaban un refuerzo de borde mayor. Las piezas de borde más importantes eran de 15 x 10 cm.

La construcción fue muy rápida, cada unidad de cubierta ocupó seis hombres durante siete días hasta terminarla (excepto la prefabricación de las vigas de borde).

Las tablas de la cubierta fueron tratadas a presión con sales ignífugas.

## 3. Escuela Primaria Chantry, Ipswich

Las cubiertas de los diversos bloques de la Escuela Primaria Chantry

en Ipswich fueron realizadas con láminas de madera en forma de paraboloides hiperbólicos, basados en unidades standard cuadradas 7.60 m. En la primera etapa, ya terminada, había tres bloques de salas de clases, cada una de dos unidades. Una sala de reuniones de cuatro unidades, y un bloque de cocina con dos unidades especiales de 6.40 x 7.60 m. La segunda etapa, actualmente en construcción consiste en cuatro bloques de salas de clases y una sala de reuniones.

Las unidades de cubierta, en vista de su luz reducida, estaban formadas por dos capas de tablas de 2.5 cm. nominales de espesor. Las dos capas tienen sus tablas en sentido de las dos diagonales. Aunque esto significó que todas las tablas fueron curvadas lo que se realizó a mano fácilmente y el radio de curvatura fue suficientemente grande como para lograr que la forma se mantuviera después de colocar la primera línea de tablas, sólo con el machihembrado entre ellas. El andamiaje consistió en un entramado de tubos, a una altura aproximadamente de 60 cm. más bajo que los vértices inferiores, y se cubrió con

tablas para formar una superficie de trabajo. Después se colocó un armazón de madera para dar apoyo cada 60 cm., a la cubierta. Las vigas de borde estaban también formadas de dos partes; la inferior con cuatro tablas de 2,5 x 15 cm. La parte superior se realizó con otro entablado de 45 cm. de extensión en la zona de las placas de anclaje para darles una superficie de apoyo adecuada. En los tirantes se utilizaron barras "Macalloy" de 16 mm. de diámetro, con su anclaje Standard, pero fueron tensados en vista del bajo peso propio de la cubierta. En los bloques de salas de clases los tirantes fueron suspendidos por soportes en forma de "V" para proveer de apoyo lateral en caso de un trabajo accidental no calculado.

A la madera de las vigas de borde y las capas superiores se les dio un tratamiento a presión para preservarlas. La capa inferior de entablado y las vigas de borde se realizaron con pino europeo sin clasificar (European redwood) y la capa superior con pino europeo de clase 5ª.

Las cubiertas se terminaron con 3

Establo en Ipswich.



capas de fieltro bituminoso sobre placas aislantes de 1,2 cm. y con barniz claro en la cara interior.

#### 4. *Granja Argent Manor, Stutton, Suffolk.*

Una aplicación poco usual de las estructuras laminares fue un corral cubierto de ganado en Stutton. El corral, que mide 18.30 x 12.20 m. se cubrió con 6 unidades de cubierta en forma de paraboloides hiperbólicos de planta cuadrada de 6.10 m. de lado c/u. Las unidades se dispusieron en forma que los aleros quedaran casi horizontales. Se dio un pequeño desnivel, alrededor de 7,5 cm. nominales de borde recto dispuestas diagonalmente como en la escuela de Ipswich descrita anteriormente. Las tablas quedaron ligeramente separadas para dar ventilación adecuada, no fue colocada ninguna membrana impermeable sobre la superficie de la cubierta.

Las vigas de borde se realizaron con piezas de madera de 15 x 15 cm y están colocadas en la cara inferior de la cubierta. La cubierta fue clavada a las vigas de borde mientras se realizaba, y luego se colocó una pequeña pieza de borde sobre la cubierta que fue apernada a la viga de borde para asegurar la solidaridad de los 3 elementos. Se usaron tirantes de acero dulce y placas de anclaje y la cubierta está colocada sobre pilares de madera sin elaborar.

Toda la madera se trató a presión con creosota.

#### 5. *Laboratorio de Laminación, Asociación para el Fomento de la Madera (Timber Development Association)*

Las cuatro unidades que forman la cubierta del nuevo laboratorio de madera laminadas en Tylers Green, Bucks, no son exactamente paraboloides hiperbólicos sino hiperboloides.

La forma es bastante similar como para ser clasificada con los paraboloides hiperbólicos. La planta de las unidades cubierta es un rombo, cada lado de 4,6 m. de longitud. Estas unidades fueron proyectadas y realizadas originalmente para ser exhibidas en la Exposición de la Construc-

ción en Olimpia, Londres, en 1957 y fueron usadas posteriormente en la Exposición de la Industria de la Construcción de Manchester. Por esta causa la cubierta se hizo lo más liviana posible y el tamaño reducido para facilitar el transporte. Las unidades de cubierta se realizaron en una fábrica y fueron transportadas completas. Casi todas las unidades fueron montadas a mano, dado que en los locales de exposición era difícil aproximar una grúa móvil. Las cubiertas están formadas por tres capas de tablas de 7,5 x 0,6 cm. encoladas entre sí, y a las vigas de borde que miden 15 x 5 cm. en total. Las vigas de borde están formadas por piezas macizas colocadas en dos mitades dejando la cubierta al centro.

Las estructuras han sido terminadas con diferentes materiales como parte de la serie de pruebas de protección a la intemperie que lleva a cabo la Asociación (T. D. A.)

#### 6. *Estudio en Durrington, Wilts.*

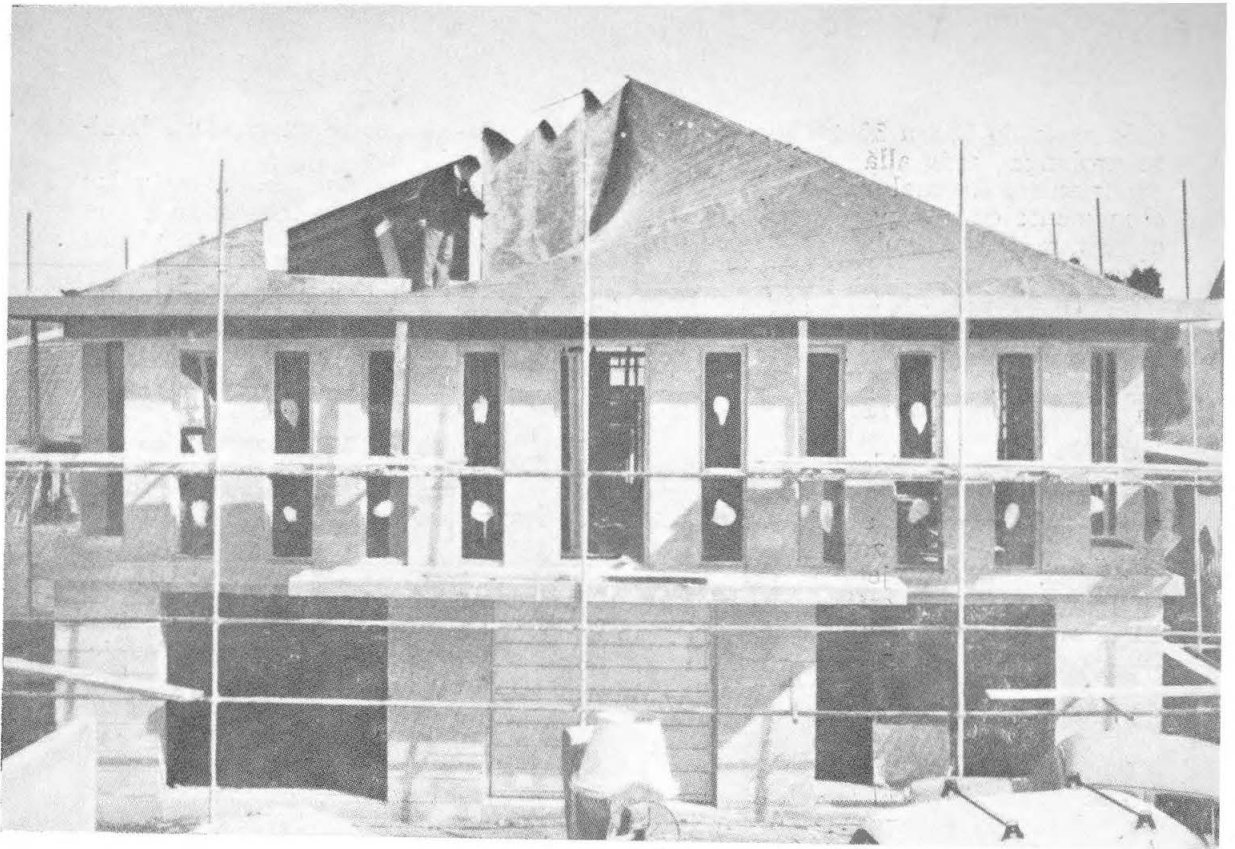
La techumbre del estudio del arquitecto Mr. R. Townsend es también una forma relacionada con el paraboloide hiperbólico. El estudio, de planta cuadrada de 7,40 m. de lado, está cubierto por cuatro unidades. En cada unidad un borde es vertical y el borde opuesto horizontal. La superficie se forma con rectas que unen dichos lados. Los cuatro bordes verticales forman un sólo elemento en el centro y los bordes horizontales se apoyan en los muros del edificio. Los bordes de unidades adyacentes se sitúan al extremo superior e inferior del elemento central y forman a) una viga de celosía que soporta la cubierta y b) un vano vidriado para iluminación natural.

La cubierta está formada por dos capas de tablas de 7,5 x 0,6 cm. encolados entre sí y a la viga de borde.

#### *Otras formas de cubiertas laminares de madera.*

1. Estación Oxford Road, Manchester.

La reconstrucción de la estación principal del Ferrocarril suburbano en Manchester, la estación Oxford Road, se realizó totalmente en made-



Estudio en Durrington.

ra. La estación tiene cinco andenes y un gran salón de forma trapezoidal (Fig. 6).

Las cubiertas de los andenes tienen la forma de láminas cilíndricas, con luces del 10,70 m. y radio de las láminas 3,50 m.

Estas cubiertas fueron prefabricadas dado que la construcción sólo era posible montarla los días domingo cuando el tráfico podía ser suspendido. Se prefabricó totalmente cada unidad de cubierta con las dos vigas de borde y nervaduras menores que se colocaron para el izado. Los apoyos, que eran de madera laminada, se instalaron sobre piezas terminales de acero y posteriormente se colocaron las láminas de cubierta. La unión entre la lámina y la estructura en voladizo soportante se realizó mediante encolado y tornillos. Con este método se podía montar un andén completo en unas pocas horas.

Las cubiertas laminares de los an-

denes están constituidas por tres capas de entablado de 15 mm. y tienen cuatro pequeñas perforaciones cada una para dar iluminación cenital. La viga de borde superior es una viga cajón formada por tablas en diagonal. La viga de borde inferior está constituida por madera y contra chapado para formar un molde y la viga de borde inferior se realizó de inmediato. Entonces se agregó la viga de borde superior. Se encontró que el entablado que constituye la estructura laminar experimentaba torsiones que deformaba la viga de borde superior si ésta se fabricaba en primer término. La primera capa de fieltro de la impermeabilización se aplicó según las normas de los contratistas.

Para evitar dificultades en el momento del montaje debidas al mal tiempo, se cubrió el salón central de la estación con tres láminas en forma de conoides. La luz de estos conoides es de 10,2 m. y el ancho de cada mó-

dulo varía de 12,8 a 30 m. La lámina se prolonga más allá de los arcos soportantes, lo cual no sólo reduce el momento en la región inferior de la estructura sino también favorece el aspecto de la cubierta. Los conoides se construyeron in situ sobre marcos y tirantes de madera laminada. Estos elementos fueron prefabricados, cada uno en dos partes, unidos en tierra y luego alzados a su posición definitiva.

Las láminas conoides son de tres capas de tablas de 2 cm. Las dos láminas más grandes se construyeron con 5 capas en una zona de 6,20 m. al centro. Con el objeto de aumentar la rigidez de la cubierta se colocaron nervios de 20 por 10 cm. a distancias no mayores de 2,50 m.

## 2. Bodega de Ferrocarriles Coventry.

Con el objeto de alcanzar el máximo de eficiencia en el nuevo depósito ferroviario para carga en Coventry, la British Railways requirió una superficie cubierta de 30.5 x 58 m. libre de apoyos internos y con un alto porcentaje de iluminación natural. En la solución elegida la cubierta está formada por cinco láminas cilíndricas cada una cubre una luz de 30.5 m. y tiene un ancho de 11.6 m.

El radio de las láminas cilíndricas es de 6.90 m. y para obtener una sección suficientemente alta se dispusieron vigas más abajo de las limahoyas. En el caso de las estructuras laminares de madera el ángulo de inclinación en las orillas no está limitado, como es el caso del hormigón armado, pero el espesor de la tabla a usar determina el radio mínimo. Las láminas constan de tres capas de tablas de 22 mm. encoladas y clavadas entre sí, reforzadas con nervios aproximadamente 15 x 15 cm. cada 1,5 m. Debido a las dimensiones de las aberturas para iluminación en la parte alta, las cuales sumaban alrededor de un tercio del ancho de la lámina cilíndrica, fue necesario tener sólidos

refuerzos de borde en madera laminada.

Las vigas bajo las limahoyas y las de borde tienen la forma de I con tablas en diagonal en el alma y alas de madera laminada. Estas vigas fueron prefabricadas y alzadas a su ubicación definitiva. Las vigas de los tímpanos tienen los nervios superiores y un tirante en madera laminada y relleno de pie derechos en madera y tablas en diagonal. Una cubierta en voladizo se afianzó en un tímpano; la cubierta se apoya sobre pilares de hormigón armado.

## 3. Escuela de Dauntisey, Wiltshire.

El nuevo Departamento de Ingeniería en la Escuela de Dauntisey, al oeste de Sanington, es otro ejemplo de estructuras laminares cilíndricas en madera. Una característica interesante de este edificio es que está siendo construido por los propios alumnos durante sus vacaciones. Debido a esto, las terminaciones debieron ser sencillas aún con un mayor gasto de material.

El techo está constituido por tres tramos de estructuras laminares de madera, dos con una luz de 13.4 m. y otro con una luz de 10.7 m. El largo de la cuerda también varía, siendo 5.5 m., 7.00 y 9.2 m. respectivamente. Sólo los dos últimos se están construyendo en estas vacaciones. Las estructuras están formadas por cuatro capas de tablas de 1/2" clavadas juntas. La estructura más ancha está reforzada por dos pestañas, de aproximadamente 6" x 6" a espacios iguales a lo largo de la estructura. Los bordes de las vigas, que en todos los casos están apoyados en muros de albañilería, son de madera laminada. Las estructuras tienen la forma de vigas tubulares con alas laminadas enmaderadas diagonalmente. Todos los componentes laminados son prefabricados en un establecimiento adyacente.

NOTA: Las fotografías han sido reproducidas del No 7 del "Bolletín of the international association of Shell Structures".