

LA MADERA EN LAS GRANDES CONSTRUCCIONES

La madera, desplazada progresivamente desde principio de siglo en las grandes construcciones por el hierro, el acero y el hormigón, vuelve de nuevo por sus fueros y entra en franca competencia con aquellos materiales, conservando al mismo tiempo lo que ha sido característica esencial en ella: la nobleza de sus cualidades estéticas y de trabajo. Ello me ha movido a publicar esta introducción a una técnica, prácticamente desconocida hasta ahora en España y de gran desarrollo en países que son al mismo tiempo grandes productores de hierro y cemento, tales como Alemania y Estados Unidos. Recojo, asimismo, algunas fotografías de las grandes obras efectuadas en Alemania. Esta nueva forma de la madera la constituye su elaboración en madera laminada.

I.-LA INDUSTRIA DE MADERAS LAMINADAS ENCOLADAS

El producto

Se llama madera laminada por encolado, la pieza recta o curva, obtenida a partir de piezas menores, en forma de tablas o tablillas encoladas en capas sucesivas en las tres direcciones, de tal forma que las fibras de todas las láminas sean paralelas entre sí y al sentido longitudinal de la pieza (Fig. 1).

En las piezas de madera laminada predomina, a diferencia de en el tablero, únicamente una dimensión, la longitud, sobre las dos restantes.

Cada una de las capas recibe el nombre de lámina y puede ser de cualquier longitud, anchura o espesor, pudiendo estar unidas de testa, canto o cara para hacer el conjunto de las dimensiones apropiadas. Igualmente pueden estar constituidas por madera de la misma especie o por especies diferentes; con tablas rectas o curvadas durante el

encolado para conservar esta forma después de fraguada la cola. En esquema podemos, pues, representar una madera laminada de la forma que se presenta en la figura 1.

Historia de esta industria

La fabricación de la madera laminada tuvo su principio en Europa, donde ya en el año 1907 se construyeron arcos de madera laminada esencialmente contruidos con especies de resinosas y empleando colas de caseína. La mejora lograda durante la primera Guerra Europea en las colas de caseína permitió que la técnica dedicara una atención creciente a las estructuras de madera laminada, primero para la aviación y luego para la construcción en general.

El considerable desarrollo conseguido posteriormente en las colas, especialmente a partir de la introducción de la



La estructura soporte es de madera laminada.

resina sintética, ha permitido a la madera laminada una gran variedad y multiplicidad de aplicaciones, ya que los factores climáticos, que tanto han limitado la aplicación de estructuras de madera encolada en exteriores, han sido prácticamente vencidos.

Actualmente, la madera laminada, y los tableros contrachapados, casi no encuentran limitaciones en su empleo. Así los vemos utilizados en formas de vigas y arcos, en la Marina, instalaciones militares y de aviación y en todo tipo de construcciones expuestas a las más severas condiciones.

Sirvan como ejemplos de las variadas construcciones las fotografías que acompañan a este trabajo.

La mezcla de especies, con el consiguiente juego de sus

Ventajas de la madera laminada

Las ventajas de la madera laminada son muchas y de gran importancia, señalando las siguientes como las más importantes.

1.— Posibilidad de fabricar elementos constructivos de grandes dimensiones a partir de piezas de madera de dimensiones comerciales. Esta posibilidad es de gran importancia desde el punto de vista forestal, ya que por una parte permite acortar los turnos de explotación por no ser necesarios los turnos largos, cuyo fin principal era obtener piezas de grandes dimensiones. Esta orientación es general actualmente, ya que casi todas las explotaciones forestales

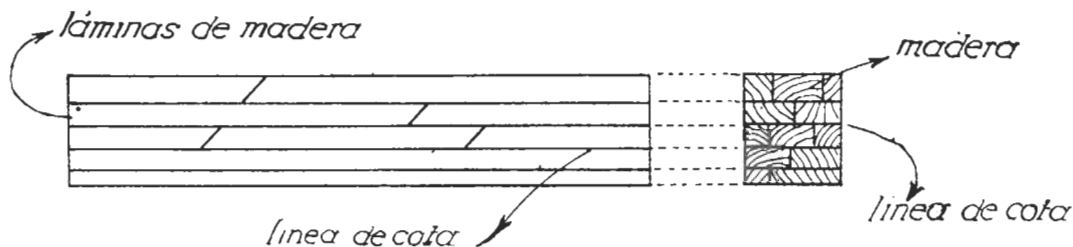


Fig. 1

colores, la variedad de formas y solidez que se le puede dar a la estructura, han tenido una gran aceptación por el público en general y por los arquitectos.

industriales tienden a utilizar madera de pequeñas dimensiones. Por otra parte, las disponibilidades de piezas de grandes dimensiones son cada vez menores en los mercados

madereros, y hoy son suministradas, salvo raras excepciones, por las especies de los bosques tropicales y subtropicales.

Para dar idea de las posibilidades de magnitud de construcción en elementos de grandes dimensiones, bástenos señalar que se han proyectado en EE. UU. arcos de 51 metros de luz libre y vigas rectas de 21 metros de luz.

En cuanto a alturas de cantos de piezas fabricadas, podemos señalar arcos cuyos elementos tenían cantos de dos metros de altura.

2.—La posibilidad de conseguir efectos decorativos y arquitectónicos especiales en todos los tipos de construcciones interiores, como algunas estructuras conseguidas en Alemania, de las que acompañan varias fotos a este trabajo.

3.—Conseguir grandes piezas de madera sin fendas, desecado u otra clase. El secar madera de grandes dimensiones presenta, en general, grandes dificultades, que podemos resumir en dos aspectos: uno, económico, ya que el secado es más lento y, por consiguiente, más costoso y otro técnico, que es muy difícil evitar y es el de las fendas, tanto antes del secado como una vez efectuado éste. El



Fig. 2

operar con piezas de madera de más fácil secado y menos expuestas a producir fendas es una gran ventaja, ya que las láminas pueden ser lo suficientemente delgadas para permitir un secado rápido y eficiente.

4.—La posibilidad de efectuar el proyecto de piezas a partir de las características de resistencia de una pieza de madera convenientemente seca. Es decir, piezas de madera cuya uniformidad de secado puede conseguirse fácilmente. Ya sabemos que la uniformidad de secado conseguido depende en gran parte del espesor.

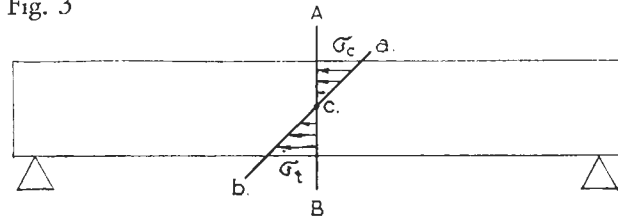
5.—La posibilidad de proyectar elementos cuya sección sea variable. Esto se consigue empleando diferente número de láminas de madera, según indica la figura 2, con arreglo a las necesidades resistentes de las mismas.

6.—La posibilidad de emplear maderas de calidad inferior, en cuanto a resistencia se refiere. Por el cálculo de la resistencia de materiales se puede deducir, dentro de una sección determinada de la pieza y con arreglo a las condiciones de trabajo, cuál es la distribución de tensiones en la misma. En consonancia con ello se puede hacer la distribución de las calidades de la madera, desde el punto de vista de resistencia (Fig. 3).

Como ejemplo consideremos una viga trabajando a flexión. La distribución de tensiones en una sección AB será la indicada por la línea *ab*. Es decir, en la zona CA las tensiones son de compresión y en la CB de tracción. En las proximidades de C las tensiones son pequeñas. Si esta viga se hace con un material homogéneo, su proyecto ha de basarse en la mayor de las dos tensiones σ_1 o σ_2 , teniendo en cuenta las características del material. En cualquiera de los casos apenas vayamos profundizando en la viga nos iremos encontrando con capas sucesivas cada vez menos car-

gadas, es decir, con capas cuya resistencia no es utilizada con arreglo a las cargas de trabajo proyectadas. Al reducir esta viga a láminas podemos ir adaptando la resistencia de ellas a la distribución de tensiones. Las tensiones de trabajo que debíamos exigir a cada una de las láminas, podría ser en el caso extremo las representadas en la figura 4.

Fig. 3



ab, línea de distribución de tensiones en la sección AB; *a' b' c' d' e' f'*, tensiones exigibles a cada una de las láminas en función de la calidad.

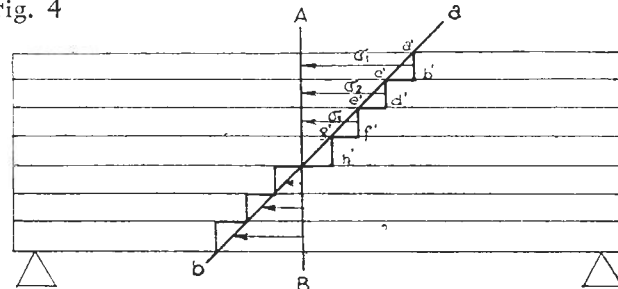
La economía en cuanto a calidad de la madera es evidente, ya que las cargas que habíamos de exigir, teóricamente, serían $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$, que están en proporción de-

creciente $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3, \dots$, y no como en el caso anterior, en que exigíamos a la totalidad de la pieza la carga σ_1 . Esta economía puede conseguirse si empleamos una sola especie, disminuyendo su calidad, o si empleamos varias especies, distribuyéndolas con arreglo a sus características mecánicas.

En este mismo sentido podemos señalar que permite un mejor aprovechamiento de la madera siempre desde el mismo punto de resistencia.

Supongamos una viga de madera con dos nudos distribuidos como indica la figura 5; las secciones AB y CO están disminuidas en d_1 y d_2 . Si dividimos esta pieza en láminas y distribuimos los nudos resultantes (Fig. 6), la sección resistente se reconstruye cortando los elementos *ab* y *cd* y colocándolos en *a'b'* y *c'd'*, respectivamente, tendre-

Fig. 4



mos reconstruida la pieza anterior con sus características de resistencia considerablemente mejoradas, al haber aumentado su sección resistente en $d_1 - d_2$ o $d_2 - d_3$. Como d_3 podemos disminuirlo convenientemente, es indudable que también podemos aumentar la sección resistente, asimismo, en forma adecuada.

Semiarcos de madera laminada para estaciones.



7.—El obtener piezas con curvatura adecuada y sección resistente con el máximo aprovechamiento de la madera y de sus calidades de resistencia.

A este respecto sabemos que las mejores características de resistencia de la madera se encuentran en la dirección de sus fibras.

Si queremos obtener una pieza curva podemos seguir tres procedimientos: curvarla de tal forma que no podemos obtener la pieza curva con el espesor requerido. El segundo procedimiento es recortarlo (Fig. 7).

La pieza obtenida cuesta un gran desperdicio de madera.

Fig. 5

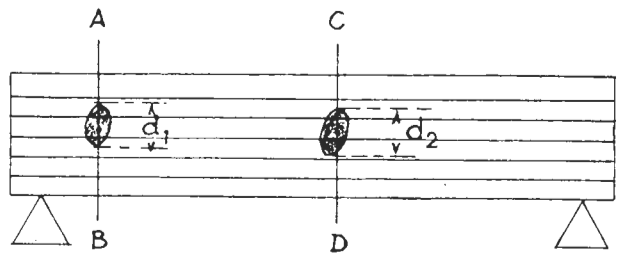


Fig. 6



Pero aun no teniendo en consideración esto, tal pieza está en las peores condiciones de trabajo. En cambio, si sacamos láminas de espesor conveniente, para que nos permita su fácil curvado, les damos la forma sobre una horma y luego las encolamos, no habremos desperdiciado madera y habremos obtenido una pieza de características similares a la madera maciza (Fig. 8).

8.—Finalmente, permite el aprovechamiento de piezas de madera de pequeñas dimensiones.

Fig. 7

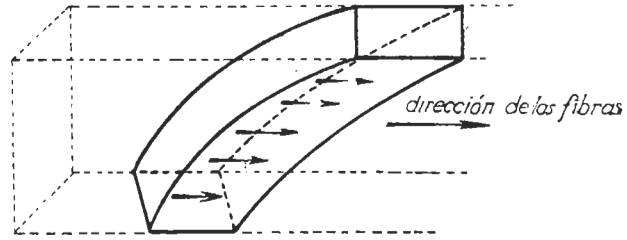
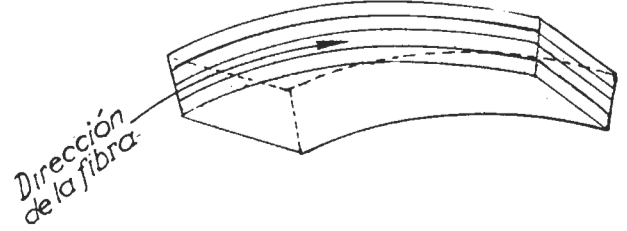


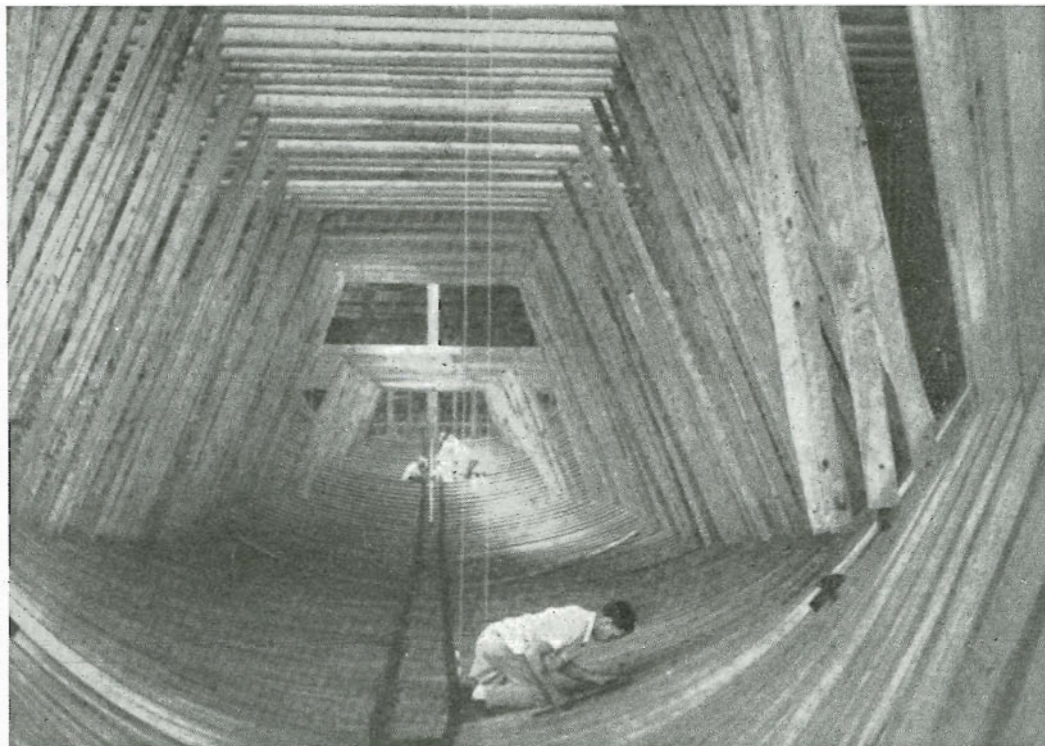
Fig. 8



Problemas que plantea la madera laminada

Frente a las ventajas que tiene la madera laminada, su elaboración plantea ciertos problemas que no existen en la madera sólida:

1.—La preparación de la madera para su encolado supone un aumento de precio de la madera laminada frente a la sólida.



Infraestructura del dragaminas antimagnético.

2.—Para aquellas construcciones en las que se puede emplear madera verde, la madera laminada supone un empleo de tiempo para cortarla y secarla posteriormente.

3.—Siendo elemento básico de la estructura de madera laminada la resistencia de la junta, el proceso de laminado necesita un equipo especial para llevar a cabo las operaciones necesarias y obtener una buena junta. En general es

personal más especializado que en la elaboración de madera sólida.

4.—Las piezas obtenidas, al ser de grandes dimensiones, presentan inconvenientes y dificultades para su transporte hasta el lugar del empleo. El fabricar elementos de pequeñas dimensiones supone eliminar algunas de las ventajas que tiene la madera laminada.

II.-CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LAS MADERAS LAMINADAS

Introducción

La madera laminada se compone, como hemos dicho, de dos elementos fundamentales: madera y cola. Referente a las distintas características de las colas empleadas en la industria de la madera y la forma de su empleo, ya hemos hecho referencia. Nos queda, por consiguiente, estudiar detenidamente la forma de encolar esa madera y la forma y disposición de las diferentes láminas.

Supuesto conocidas las normas generales que deben presidir la elección de la cola, resumiremos sus características, en cuanto a las particularidades de esta industria.

Para piezas laminadas utilizadas en condiciones que se encuentran protegidas de ambientes muy húmedos y de humedad relativa elevada, pueden emplearse colas de urea y de caseína. No obstante, habrá que prescindir de las colas de urea si se sospecha que pueden estar expuestas a temperaturas superiores a las normales de una habitación.

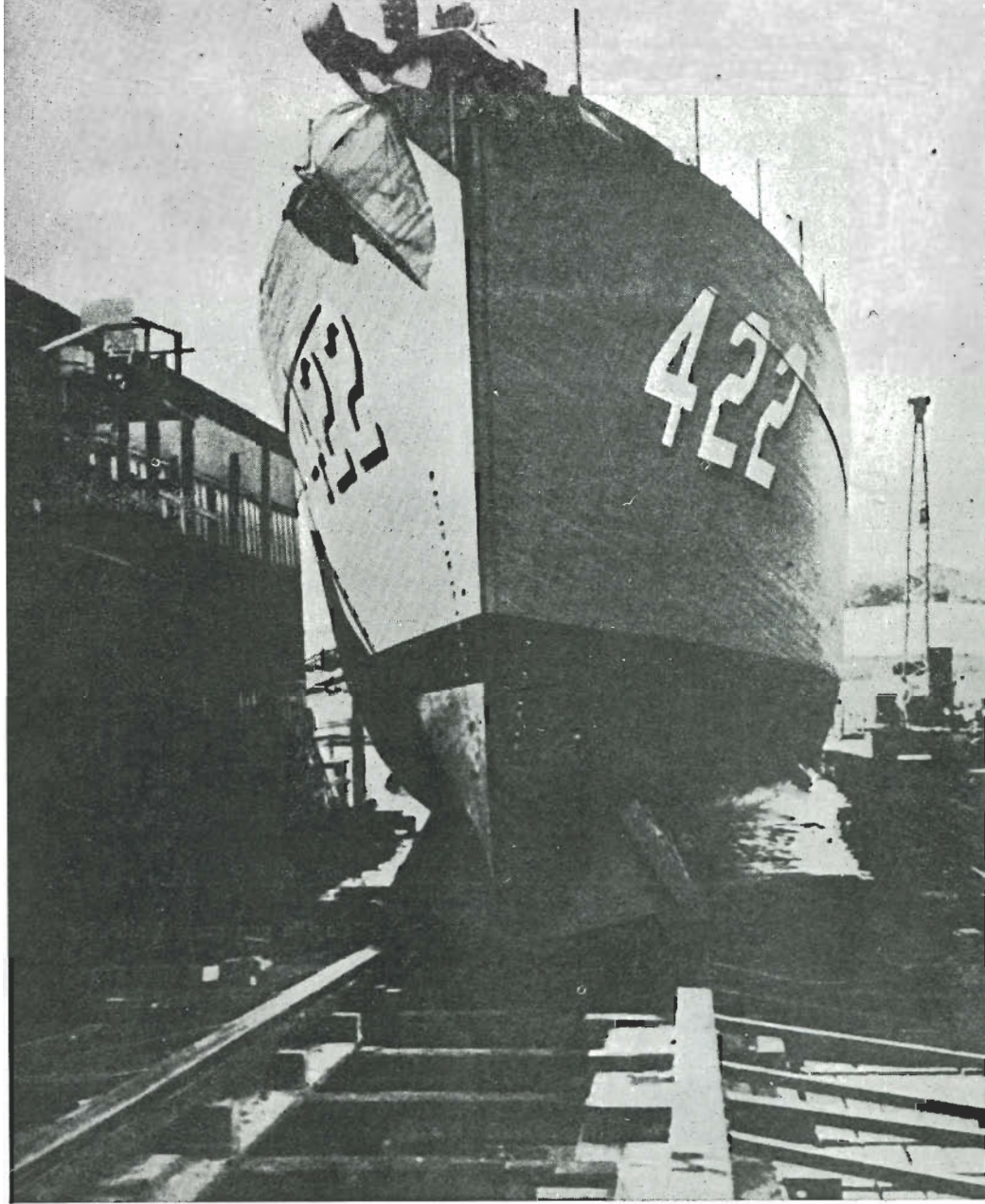
Como se sabe, sus condiciones de resistencia expuestas

a temperaturas y humedades relativas ordinarias, no se han establecido completamente. Esta condición no las hace, por el momento, muy recomendables para estructuras de tipo permanente, especialmente si se emplean maderas frondosas duras.

Cuando las condiciones previsibles para la atmósfera a que ha de estar expuesta la estructura sean tales que la humedad de equilibrio higroscópico de la madera sea superior a un veinte por ciento, no se deben emplear ni las colas de caseína ni las de urea.

Para estructuras expuestas a inmersión en agua, o a mojados y secados alternos, como exposiciones al exterior, o edificaciones expuestas a ambientes húmedos durante mucho tiempo, deben emplearse colas de resorcinol, fenol o melamina. Dentro de éstas, ha de tenerse en cuenta en la elección la facilidad de adquisición, la vida de almacenaje, las condiciones del fraguado, utillaje disponible y costo.

**Dra g a m i n a
antimagnético.**



Las colas formadas por mezclas de fenol-resorcinol, que son de temperaturas de fraguado intermedias, tienen una vida de almacenaje corta, a las temperaturas corrientes, y necesitan un suministro bastante grande de calor para su fraguado.

Las colas de resorcinol tienen una vida de almacenaje bastante grande y en muchos usos se las puede hacer fraguar a veinte o treinta grados centígrados; pero, en cambio, su coste es bastante más elevado que las anteriores de fenol-resorcinol.

Las de melamina tienen una larga vida de almacenaje y requieren las mismas condiciones de fraguado que algunas de las de fenol-resorcinol, aunque es necesario, en general, una manipulación más cuidadosa.

La madera: Generalidades

La madera para el laminado debe ser seleccionada y preparada adecuadamente para el encolado.

Deben tomarse en consideración la especie y sus cualida-

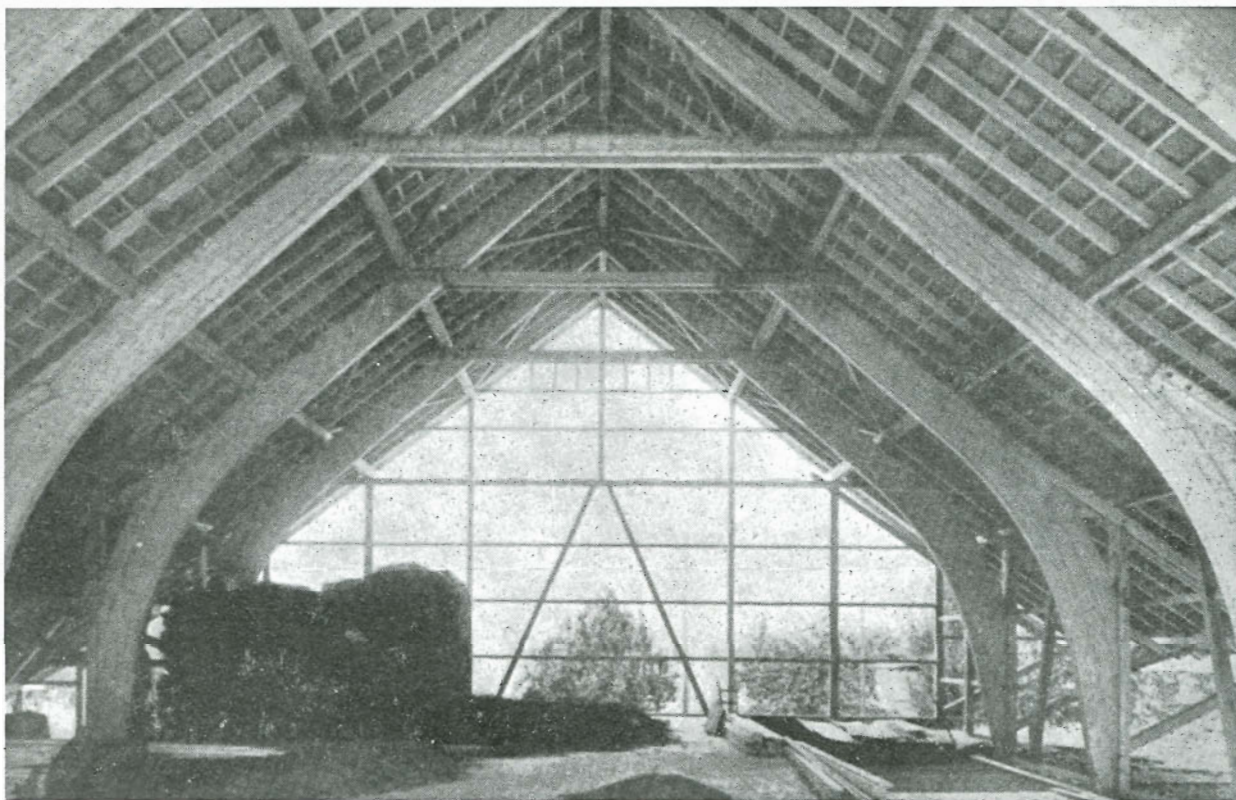
des de encolado, la humedad, así como las características de las superficies para el encolado. Estas son las características que podríamos llamar fundamentales para la estructura encolada, pero indudablemente deben tomarse en consideración también los defectos de la madera y su distribución y en algunos casos la apariencia o aspecto estético de la estructura.

Especies y cualidades de encolado

Generalmente se puede obtener un buen encolado, especialmente empleando colas de resinas sintéticas, con la mayoría de las especies conocidas.

Cuando se sospeche que no puedan conseguirse las características de encolado adecuadas, los ensayos pertinentes con análisis de los porcentajes de rotura de la madera y resistencia al esfuerzo cortante en bloque permitirán una elección adecuada de la especie y cola.

Hasta ahora se han empleado principalmente las maderas



Capilla con arcos laminados.

resinosas en la fabricación de piezas de grandes dimensiones para la construcción. En EE. UU. se utiliza pino de Oregón y del Sur en grandes vigas, arcos, cerchas, a causa, principalmente, de su coste y disponibilidades. En construcciones navales, el roble blanco americano.

En las estructuras con fuertes curvaturas, para obtener piezas de gran resistencia, debe emplearse madera de fibra recta, libre de defectos y de dimensiones apreciables, con objeto de que las láminas se puedan curvar con el radio deseado sin romperse. Las superficies con grandes nudos, pudriciones, etc., reducen el área de encolado. Las que contienen medula, fibra sesgada y nudos no encolan tan bien como las piezas de madera limpia y fibra recta.

Humedad de la madera

Como norma general la humedad de la madera debe ser tal que produzca la máxima resistencia con la cola empleada, y que sea aproximadamente igual, en general algo menor, a la de equilibrio higroscópico de la madera puesta en obra. Como norma general varía entre el 7 y 15 por ciento; y más especialmente se puede emplear para elementos utilizados en interiores relativamente secos, tales como edificios, viviendas, etc., entre un 8 y 10 por ciento, y para elementos de uso en exteriores entre un 12 y 15 por ciento.

Por otra parte, con el fin de evitar el trabajo de la madera en el proceso de equilibrado e igualado de su hume-

dad una vez efectuada la estructura, no deben emplearse láminas con una diferencia de humedad de más de un 5 por ciento, bien se consideren en altura o en anchura. Así, por ejemplo, si una lámina tiene 8 por ciento, la contigua no debe tener más del 13.

La determinación debe hacerse por los métodos que ya hemos descrito en el secado de la madera.

El almacenaje de la madera debe hacerse en tales condiciones que se eviten cambios apreciables, en su contenido de humedad.

Características tecnológicas de la madera

La madera debe trabajarse en forma adecuada para este empleo. En primer lugar, pasarla por la reguesadora para refrescar las superficies eliminando espesores equivalentes en ambos lados, con objeto de liberar la superficie de los efectos del secado, que siempre alteran las condiciones de superficie de la madera. Además deben eliminarse las zonas defectuosas de la madera y los defectos más sobresalientes. Como veremos posteriormente, se efectuará una clasificación adecuada de este material para su distribución en el conjunto de la piza.

En cuanto a la disposición de la fibra, la madera puede ser clasificada en dos grupos: de aserrado tangencial y de aserrado radial, mirada de testa la madera, teniendo en cuenta los ángulos de los anillos con respecto a las caras de la tabla; la clasificación anterior corresponde a $\alpha > 45^\circ$ y $\alpha < 45^\circ$ (Fig. 9).



Detalle de construcción de una pieza laminada curva.

Siendo α el ángulo del anillo con la cara de la pieza o tabla.

La diferencia en hinchazón y merma de las tablas, cortadas de una y otra forma, es en general muy pronunciada y puede dar origen, una vez puesta la estructura en obra, a tensiones sobre la línea de cola que pueden llegar a producir la deslaminación de la estructura.

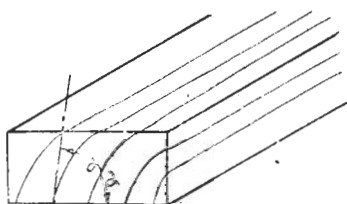
cialmente cuando se trabaja con frondosas, cuyas características de hinchazón y merma son más acusadas. En las resinosas estas diferencias son en general poco marcadas y, por consiguiente, la clasificación no se hace tan necesaria como en las frondosas.

Corte y preparación de las láminas

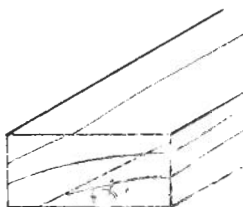
Las superficies de las tablas obtenidas por aserrado presentan irregularidades, y aunque, como hemos dicho, sufran un regruessado previo, estas superficies necesitan un terminado adecuado mediante un corte final, que deje las superficies en condiciones de obtener un buen encolado y unos espesores perfectamente ajustados.

Respecto al primero deben emplearse siempre máquinas de cuchillas para que den una superficie limpia. Las superficies preparadas con sierras o con lija no han dado en general buenos resultados en el encolado, especialmente cuando se emplean colas de resinas sintéticas y especies frondosas o resinosas duras.

Este terminado se refiere a todas las superficies que va-



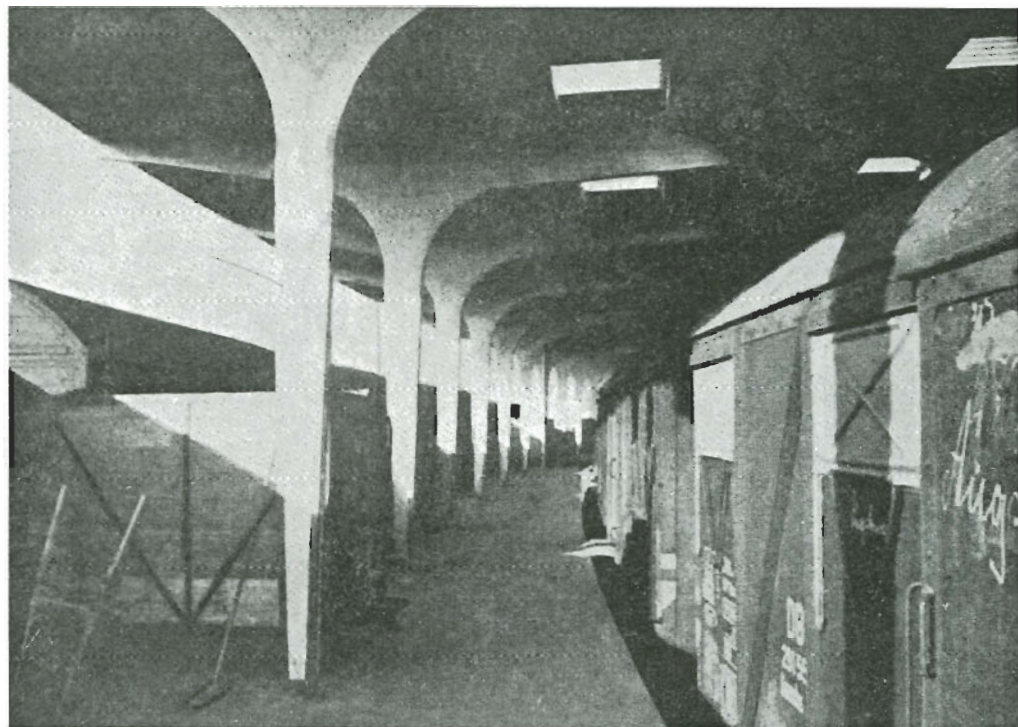
Madera de aserrado radial $\alpha > 45^\circ$.



Madera de aserrado tangencial $\alpha < 45^\circ$.

Fig. 9

La madera, así clasificada, debe mantenerse separada y no mezclarse en una misma operación de armado, espe-



**Soportes de ma-
dera laminada.**

yan a encolarse, es decir, a las caras de las láminas, y a los cantos, cuando se vaya a encolar estas superficies.

Aunque en algunas estructuras no es necesario, sin embargo es conveniente el clasificar las piezas del mismo ancho para poder obtener una alineación adecuada de las líneas de encolado. Esta operación es muy corriente en las piezas de grandes dimensiones.

En cuanto a los espesores también deben mantenerse en una gran uniformidad con objeto de obtener una línea de encolado de espesor uniforme, especialmente cuando una

lámina se va a obtener por encolado de costado y de testa de otras piezas. Los espesores de las piezas que vayan a formar una misma laminación no deben diferenciarse en más de 25/100 de mm.

La operación de terminado final de las superficies debe hacerse siempre antes de efectuar el encolado y montaje de la pieza, operación que se llama «preparación final de la superficie» y se llevará a cabo en la misma instalación de fabricación de madera laminada.

III.-PROYECTO DE PIEZAS LAMINADAS

Estructuras básicas de madera laminada

Existe una gran variedad de estructuras de madera laminada. No obstante, los tipos básicos son los siguientes:

Vigas con laminado horizontal o vertical

Están constituidas por láminas de madera encoladas de tal forma, que las cargas actúan normalmente a los planos de laminación.

La característica principal desde el punto de vista de su proyecto es que los encolados de canto de las láminas no son necesarias en cuanto a la resistencia, aunque son recomendables para la manipulación y armado de la pieza (figura 10).

Son aquellas que están construídas de tal manera que

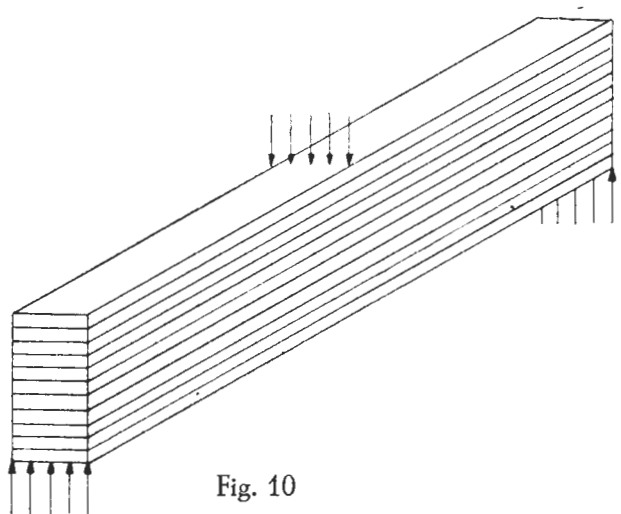


Fig. 10

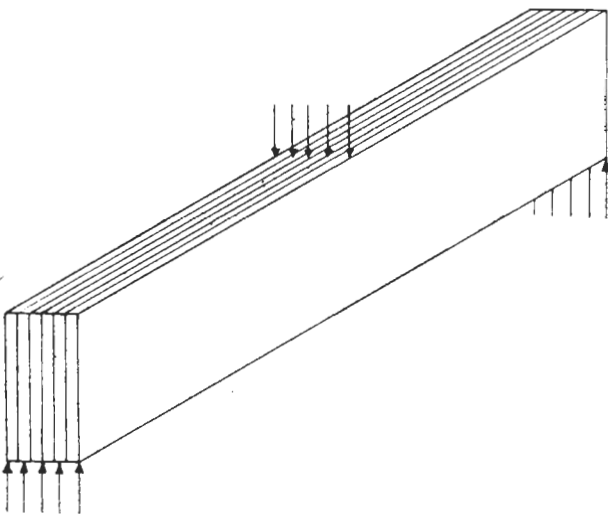
los planos de la laminación son paralelos a las cargas actuantes sobre la pieza.

Desde el punto de vista de la resistencia los encolados de canto de las láminas son necesarios, pues han de absorber el esfuerzo de corte de la pieza, afectando por consiguiente a la resistencia de la estructura total (Fig. 11).

Arcos

Los arcos y piezas curvas son, como hemos dicho, uno de los elementos más interesantes desde el punto de vista de las estructuras de madera, y por otra parte son las más

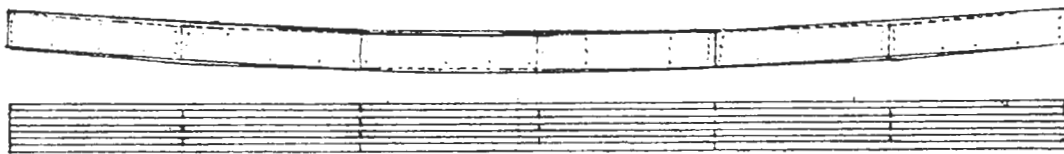
Fig. 11



llamativas. Por lo general están laminadas horizontalmente y se construyen de los tres tipos que muestra la fig. 12.

Existen asimismo los laminados verticalmente, que se llaman también segmentados (Fig. 13).

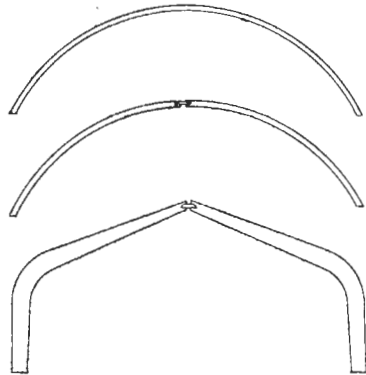
Fig. 13



A este tipo de construcción, aunque ha sido muy utilizado, se le oponen las objeciones de que presenta excesivas uniones de testa y de que la dirección de las fibras no es exactamente paralela a la de los esfuerzos.

Estructuras mixtas de madera laminada y tableros

Estas estructuras, que se obtienen combinando madera laminada y tablero, permiten la construcción de elementos



Arc o biarticulado de espesor constante,

Arc o triarticulado de espesor constante,

Arc o triarticulado de espesor variable.

Fig. 12

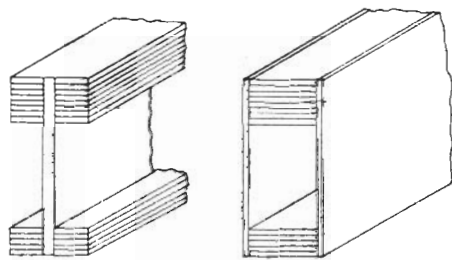


Fig. 14

rectos y arcos de varios tipos: forma de «I», de caja, etcétera, que son muy útiles y permiten una gran economía de materiales (Fig. 14).

El tablero tiene que ser de gran resistencia al esfuerzo

cortante, ya que el efecto producido en la viga debe ser absorbido principalmente por él.

César PERAZA

(En nuestro próximo número proseguirá el señor Peraza el desarrollo de este interesantísimo tema.)