

# LA MADERA EN LAS GRANDES CONSTRUCCIONES

por César Peraza

*Incluimos en este número la segunda de las tres partes en que el señor Peraza ha dividido para su desarrollo el tema «La madera en las grandes construcciones». Lo madera compite con el hierro, el acero y el cemento, lo cual es posible gracias a la industria de madera laminada, técnica poco conocida hasta ahora en España y que, en cambio, ha adquirido pujante desarrollo en países grandes productores de hierro y cemento, como Alemania y Estados Unidos. Iniciado el tercer capítulo con unas generalidades sobre las estructuras básicas, seguimos hoy en él con el estudio de la formación de las láminas.*

## III. PROYECTO DE PIEZAS LAMINADAS

Cada una de las láminas que constituyen la pieza laminada pueden estar constituidas, tanto en ancho como en longitud, por una o varias piezas, dando como consecuencia las uniones o juntas de canto y de testa.

### **Uniones de canto**

Ya hemos visto que desde el punto de vista de resistencia, la unión de canto en el laminado horizontal no es necesaria, aunque si lo era para la manipulación o en

las capas exteriores, por cuestiones de apariencia. Por el contrario, es absolutamente necesaria en el laminado vertical. Por consiguiente, en el primer caso se puede hacer con colas de calidad inferior, y en el segundo, serán necesarias colas de gran calidad.

Las uniones pueden ser de a tope, de caja, espiga, machihembrada o a cola de milano (fig. 1, 2 y 3).

Las ventajas de las distintas uniones reseñadas no difieren esencialmente respecto a su resistencia y no presentan ninguna ventaja apreciable; por consiguiente, su

empleo, que requiere maquinaria especial, es tan poco frecuente que rara vez se hace, empleándose la más sencilla.

**Uniones de testa**

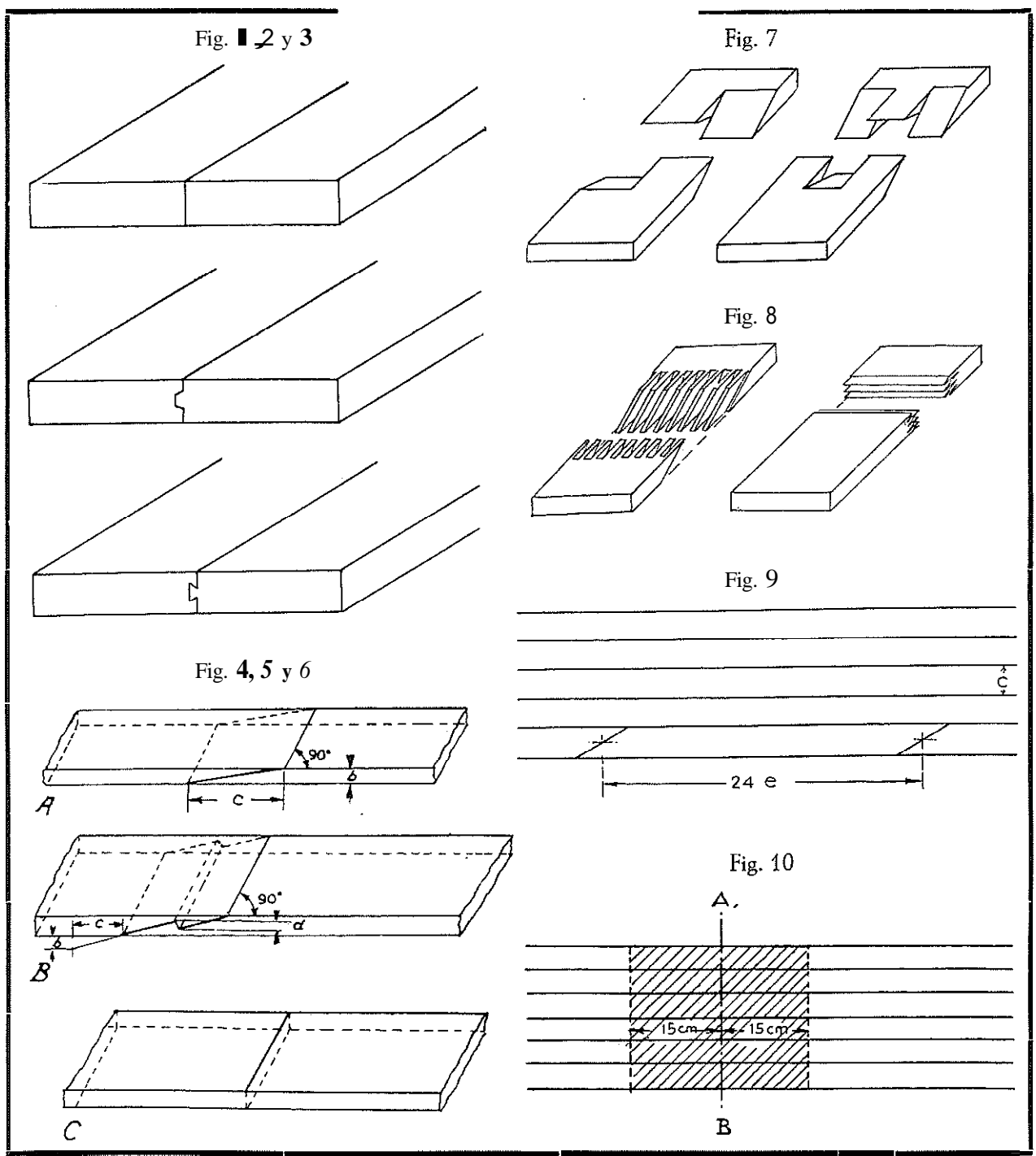
Son aquéllas efectuadas para obtener piezas de longitud adecuada. Los tipos más utilizados por su sencillez son principalmente los siguientes: en pico de flauta o so-

lapa (fig. 4), solapa can diente (fig. 5) y a tope (fig. 6).

Existen otros tipos de uniones de testa que se representan en las figuras 7 y 8, algunos de ellos patentados, pero que, en general, se emplean poco.

Los dos tipos principales de uniones de testa son los de solapa y a tope. Los restantes dan resistencias similares y san, como hemos dicho, de construcción más delicada.

Respecto a las primeras, se recomienda, de acuerdo



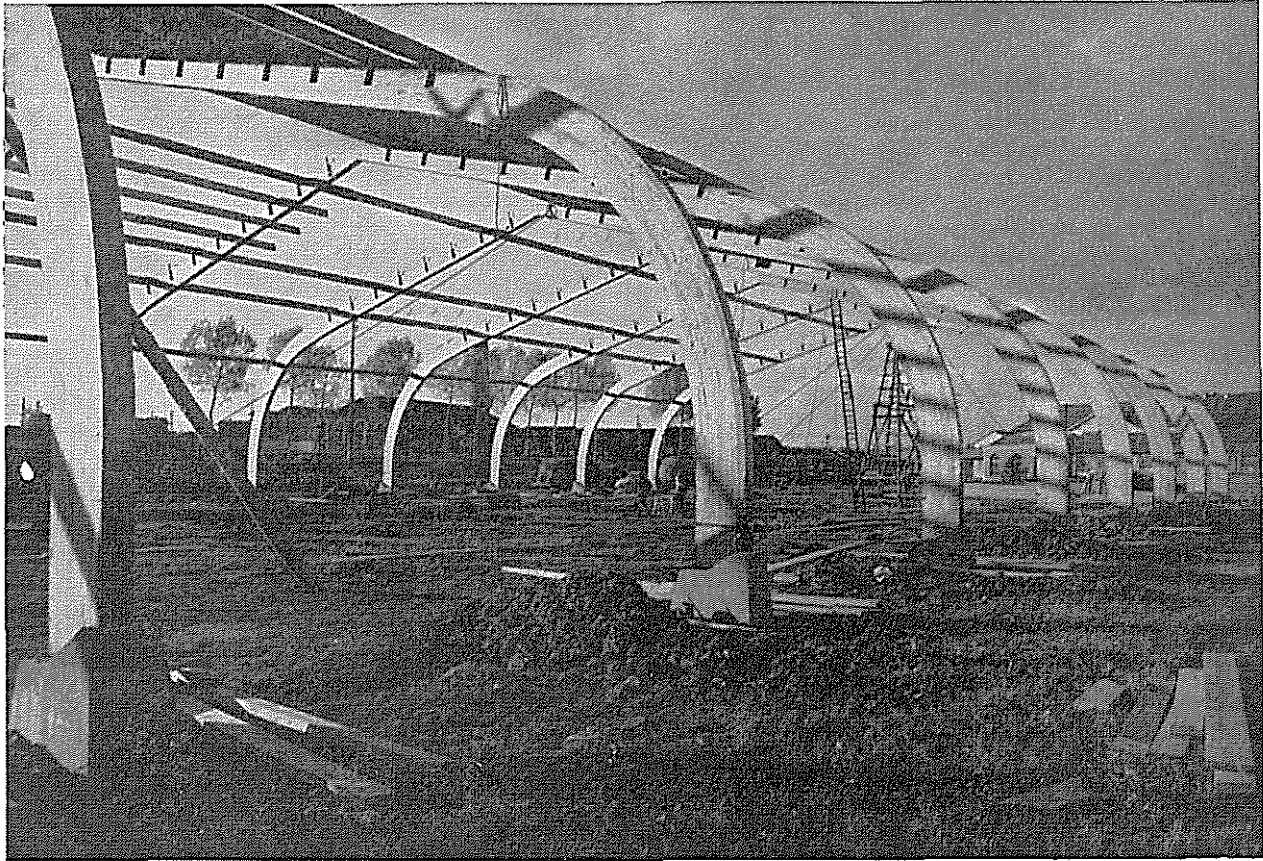


Foto Revue du Bois

Fig. 10

con los ensayos hechos hasta el momento, lo siguiente:

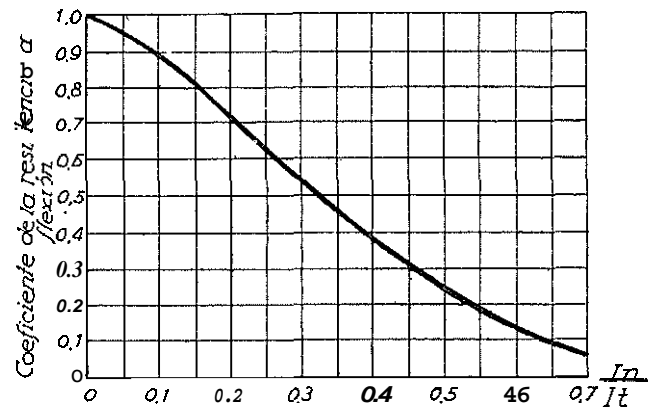
En las piezas sometidas a tracción, las distancias de centro de las uniones a solapa deben separarse, por lo menos, 24 veces el espesor de las láminas de las laminaciones adyacentes (fig. 9).

En las piezas sometidas a flexión, las juntas en solapa pueden separarse, de centro a centro y entre laminaciones adyacentes, desde 24 veces el espesor para las zonas sometidas a grandes esfuerzos de tracción hasta cero veces el espesor en las zonas sometidas a esfuerzos menores o nudos de tracción.

La pendiente de la solapa se mide por la relación  $b/c$ , figura 4, y se recomienda sea menor de  $1/10$  en las zonas de tracción y no menor de  $1/5$  en las de compresión. Ya veremos en el apartado correspondiente las reducciones que sobre las tensiones básicas producen estas juntas.

En las zonas de compresión no tienen efectos reductores en las tensiones básicas.

Las uniones a tope *no transmiten ninguna tensión de tracción* y respecto a las de compresión las transmiten después de sufrir una deformación apreciable o cuando se introduzca entre en ellas una chapa metálica. Como esta última operación no se efectúa normalmente en el laminado de la madera, debemos considerar que las uniones a tope son totalmente inactivas para la transmisión de esfuerzos, tanto de compresión como de tracción. La transmisión se efectúa, pues, por las piezas adyacentes



y en las cercanas de la unión a tope se produce una concentración de tensiones. Debido a esto, este tipo de unión no se recomienda en las piezas laminadas, y cuando se emplea deben hacerse las reducciones en las tensiones básicas correspondientes, que analizaremos posteriormente.

### **Resistencia de las piezas laminadas encoladas**

Desde el punto de vista de su resistencia, las piezas de madera laminada presentan ciertas ventajas sobre la madera sólida. Así, por ejemplo, una pieza laminada

hecha, como puede hacerse, de madera seca—de la que, por otra parte, conocemos las condiciones en que va a emplearse, sometida de forma continua a un grado de sequedad apropiado—puede proyectarse tomando como base las tensiones de madera seca que están respecto a las de humedad normal (18 por 100) en la relación que establece la siguiente tabla:

TENSION	Coeficiente
Tracción de la fibra extrema paralela a la fibra ... ..	1,25
Esfuerzo cortante longitudinal ... ..	1,14
Compresión paralela a la fibra ... ..	1,37
Compresión perpendicular a la fibra ... ..	1,50
Módulo de elasticidad de flexión ... ..	1.10

Por otra parte, tenemos la ventaja de la distribución adecuada de las láminas de madera, por su clase-resistencia y por defecto, con arreglo a la distribución de tensiones en la sección de la pieza a que ya hemos hecho referencia anteriormente.

No hemos de perder de vista que, aparte de la dispersión de los defectos de la madera, los ensayos efectuados demuestran que la laminación, por si misma, no afecta a las condiciones de resistencia de la madera, respecto de las de una pieza sólida de idénticas características, excepto en el caso de que las láminas sean tan delgadas que la cala entre en un porcentaje grande.

A continuación analizamos el efecto, en piezas construídas con láminas de madera encolada, sobre las tensiones básicas de la madera sólida que entran en su construcción.

**Efecto de los nudos**

El efecto de los nudos en la resistencia a la flexión y en el módulo de elasticidad depende de su número, dimensiones y posición con respecto a la línea neutra medidos en un entorno de la zona crítica que comprende 15 cm. a cada lado de ésta, figura 10. En este caso, como sabe-

Fig. 11

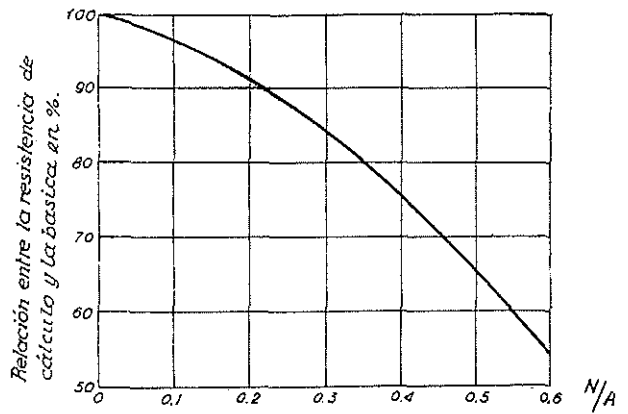
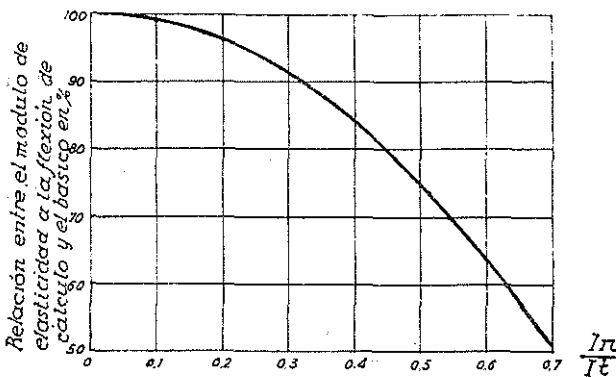


Fig. 12

mos, la resistencia a la flexión depende de la suma de los momentos de inercia, respecto a la línea neutra de todos los nudos situados 15 cm. a cada lado de la sección crítica. La suma de estos momentos de inercia podemos representarla por  $I_n$ . El momento de inercia de toda la sección respecto a la línea neutra lo llamamos  $I_t$ . Las relaciones entre la resistencia a la flexión y rigidez se recogen en los gráficos (figs. 11 y 12) en función de la relación  $I_n/I_t$ .

El efecto de los nudos en la compresión depende de su proporción más que de la sección total ocupan. En función del ancho total de la lámina A y la media de los nudos más anchas en cada laminación  $N_n$ , la figura 13 da el tanto por ciento que debe establecerse para la tensión de compresión.

En cuanto a la tensión de tracción, no existen datos exactos, pero derivada de la figura 13 se obtiene la figura 14, que da igualmente los porcentajes de la relación existente entre  $N_n$  y A.

**Efecto del desvío de la fibra**

El efecto del desvío de la fibra es igual que en la madera sólida y viene dada por la tabla siguiente:

	FLEXION ESTATICA		Flexión dinámica	Compresión paralela a la fibra Máxima resistencia al aplastamiento
	Módulo de ruptura	Módulo de elasticidad		
Fibra recta	%	%	%	%
1/25	100	100	100	100
1/20	96	97	95	100
1/15	93	96	90	100
1/12	93	94	81	100
1/10	81	89	62	99
1/5	55	67	36	93

No obstante, las exigencias en cuanto a desvío o sesgo de la fibra pueden disminuir progresivamente según las láminas se acercan a la línea neutra, de acuerdo con la

disminución de tensiones que se produce en los diferentes niveles.

### Efecto de la curvatura

Al curvar una pieza de madera se inducen tensiones en las piezas. La mayoría de estas tensiones se relajan inmediatamente, pero otras continúan y reducen la resistencia de la pieza. El coeficiente correspondiente viene dado por la fórmula:

$$C_c = 1 - \frac{2.000}{(R/e)^2}$$

R es el radio de la curvatura y e el espesor, ambos deben, naturalmente, medirse en las mismas unidades.

### Efecto del espesor de las láminas

Los ensayos efectuados hasta el momento demuestran que el espesor de las láminas no tiene efecto en la resistencia de las piezas rectas. Respecto a las curvadas, ya se ha hecho referencia.

### Efecto de las juntas

Las laminaciones que tengan juntas en solapa en la zona sometida a tracción, bien sea en vigas o tirantes, no deben ser sometidas a cargas de trabajo superiores a la que establecen los porcentajes de la siguiente tabla, en función de la pendiente de la solapa de las juntas:

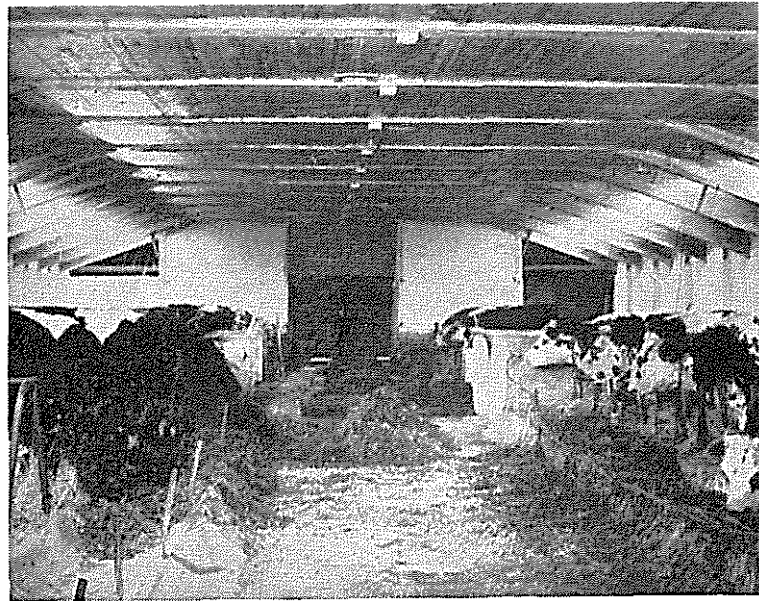
Pendiente	Coficiente
1/12	90 %
1/10	85 %
1/8	80 %
1/5	65 %

Cuando la distribución de las juntas de solapa no puede hacerse con arreglo a lo establecido, además de procurar evitar cualquier concentración de juntas, se deben emplear tensiones inferiores a las establecidas anteriormente, con arreglo al cuadro siguiente:

Pendiente	Coficiente
1/12	85 %
1/10	80 %
1/8	75 %
1/5	60 %

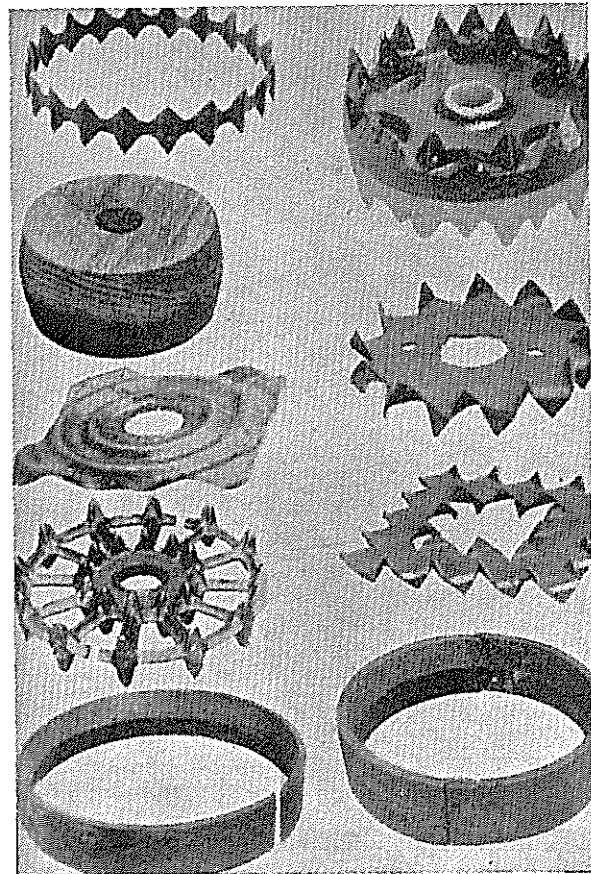
Respecto a las juntas a tope ocurre, si se utilizan en la zona de compresión de una pieza trabajando a flexión, que todas las láminas que en una sección determinada tengan junta a tope, deben descontarse al efectuar el cálculo de momento de inercia. Cuando se emplean en la zona de tracción de la misma pieza, el momento de inercia efectivo se calcula restando del momento de inercia total el de las láminas que contienen juntas a tope, multiplicado por el coeficiente 1,2.

Cuando se utilizan las juntas a tope en piezas sometidas



Otra construcción rural en Francia. Establo. (Foto Revue du Bois).

Modernos tipos de clavazón para construcción en madera.





a compresión, la sección transversal efectiva debe calcularse restando de toda la sección la de las láminas que en ella tienen juntas a tope. Además, si las láminas que contienen juntas a tope son adyacentes a otras que también las contienen, deben considerarse sólo parcialmente activas cuando la separación entre las juntas es menor que 50 veces el espesor de las láminas.

El área efectiva de las láminas, situadas adyacentes unas de otras, se calcula multiplicando su área por el coeficiente siguiente en función de la separación de las juntas:

<i>Espaciamento e = espesor de las láminas</i>	<i>Factor de efectividad del área</i>
30 e	90 %
20 e	80 %
10 e	60 %

Como ya hemos establecido, las juntas a tope no deben utilizarse en piezas sometidas a tracción, pero cuando se empleen, se computa de forma análoga a la de piezas sometidas a compresión, con la única diferencia de que en lugar de restar simplemente el área de la lámina que tiene junta a tope en una sección determinada, se resta 1,2 veces este área.

En el caso de que para un tipo de junta determinada, no se disponga de datos, deben tratarse como junta a tope.

En cuanto al efecto de las juntas de canto, en piezas de laminado horizontal y vertical, ya hemos hablado en el capítulo «Uniones de cantos».

## **Efectos de las fendas, acebolladuras y rajaduras en el esfuerzo cortante**

Como norma general, las fendas, acebolladuras y rajaduras no existen en las maderas laminadas, ya que normalmente se eliminan al hacer la construcción. Por otra parte, éstas se producen generalmente en el sentido radial y como el laminado se hace horizontal su efecto es despreciable.

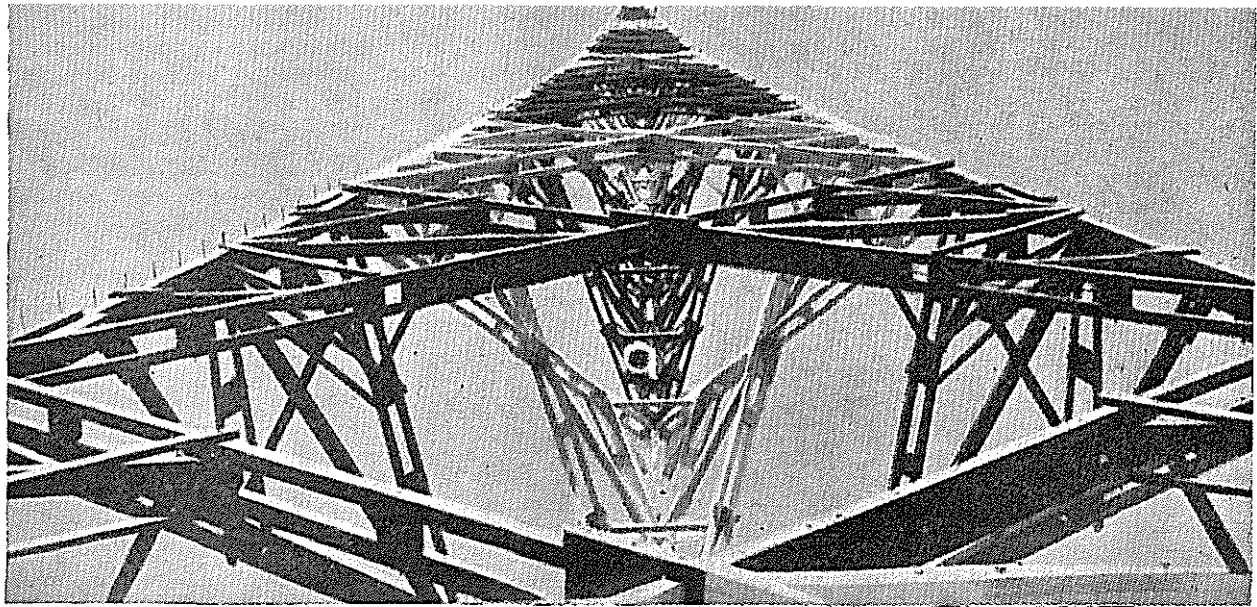
No obstante en las vigas con laminado vertical han de tenerse en consideración para el esfuerzo cortante horizontal, y sus efectos sobre tensiones básicas son análogos que en las piezas sólidas.

## **Efecto de la altura de la viga en la resistencia a flexión**

Las cargas unitarias obtenidas a partir de los ensayos efectuados con los métodos convencionales en vigas de

Construcción rural silo-hangar. (Foto Revue du Bois)





**Torre de la emisora de radio W. R. V. A., en Richmond (Virginia). Su estructura es de madera ensamblada con nuevos tipos de clavazón**

madera, disminuyen cuando aumenta la altura de la viga. Las tensiones básicas para la fibra extrema en flexión, se toman generalmente válidas para vigas de hasta 30 cm. de altura, por lo que la altura no constituye un problema en las piezas aserradas, pero si en las laminadas que pueden tener, como hemos visto, alturas considerables.

El factor por el que hay que multiplicar la tensión admisible nos lo da esta fórmula empírica:

$$F_a = 0,81 \frac{a^2 + 894}{a^2 + 550}$$

a = viene dado en cm.

En cuanto al factor de forma es análogo al de una pieza de madera sólida.

### **Dimensiones de piezas de madera laminada**

Las Fórmulas usuales empleadas en el proyecto de piezas de madera sólida, son totalmente aplicables para la madera laminada, en cuanto a las piezas rectas se refiere.

La aplicación de las fórmulas corrientes a las piezas curvadas de gran altura de sección, pueden introducir errores apreciables en las tensiones calculadas. Para tales casos deben utilizarse los métodos especiales descritos para este tipo de estructuras en los libros clásicos de resistencia de materiales.

Cuando en una sección de una pieza curva se produce un momento flector nacen tensiones en la dirección paralela al radio. El valor máxima de estas tensiones se producen en el eje neutro y vienen dados aproximadamente por la fórmula siguiente:

$$R = \frac{3}{2} \cdot \frac{M}{R.b.h.}$$

En ella M es el momento flector, R radio de curvatura y b y h son el ancho y la altura de la sección transversal de la pieza. Cuando el momento M tiende a disminuir la curvatura, la tensión es de tracción y cuando el momento M

tiende a aumentar la curvatura, la tensión es de compresión.

Los valores de R deben limitarse a los valores de compresión perpendicular a la fibra, en el caso de que la tensión originada sea de compresión. Cuando la tensión originada sea de tracción perpendicular a la fibra, la sección debe proporcionarse de tal forma, que esta tensión quede reducida a 1/3 de la tensión de esfuerzo cortante, en el caso de las resinosas y a 3/8 en el caso de las frondosas.

C. P.

Fig. 13

