

ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA

Ignacio Seoane y Ortiz de Villajos
Ingeniero de Montes.
Departamento de Maderas. Instituto Nacional
de Investigaciones Agrarias

859-5

La construcción de vigas de madera de gran longitud se remonta a más de cuatrocientos años, pero fue a finales del siglo pasado cuando se pudo obtener una sección homogénea, sin deslizamiento relativo de una lámina con relación a la otra, gracias a la genial idea del suizo Otto Hetzer que utilizó la cola de caseína para asegurar de manera íntima la unión de las planchas entre sí.

De esta idea nació un material, del cual el récord alcanzado no hace más que crecer.

Se denomina madera laminada a toda pieza recta o curvada 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 piezas sean paralelas entre sí y a la dirección longitudinal de la pieza, predominando una dimensión con relación a las dos restantes.

El gran auge de este tipo de estructuras se debe principalmente al desarrollo conseguido en la fabricación de las colas, especialmente a partir de la introducción de las colas de resinas sintéticas, que son mucho más resistentes a los factores climáticos, causantes del empleo limitado hasta hace poco de las estructuras laminadas en exteriores.

Entre las ventajas que presentan las estructuras de madera laminada podemos citar las siguientes:

- Posibilidad de fabricar elementos de sección transversal y longitud muy superiores a las que se pueden obtener con una sola pieza de madera aserrada.
- Calidades de madera inutilizables como elementos estructurales pueden emplearse en las estructuras de madera laminada para formar un elemento con las mismas características resistentes que corresponden a una pieza única.

Como es conocido, una viga sometida a flexión presenta en cada sección transversal una distribución lineal de tensiones. En las láminas próximas a la fibra neutra, las tensiones son muy reducidas, lo que permi-

te emplear maderas de calidad inferior, con lo que se consigue una economía sustancial:

- Posibilidad de construir elementos de sección variable, que se adapten con las secciones estrictamente necesarias a las sollicitaciones actuantes.
- Existe un control muy superior de la calidad de la madera.
- Aprovechamiento de piezas de madera de pequeñas dimensiones.
- Consecución de elementos estructurales, decorativos por sí mismos, que no necesitan prácticamente ningún tratamiento posterior ni acabados especiales.

Proceso de fabricación

Para mejor comprender este tipo de estructuras, recordaremos brevemente el proceso de su fabricación, que tiende, cada vez más, a una automatización de ciertas funciones:

- Almacenaje de la madera en parquet.
- Secado de la madera en secadero a fin de obtener la humedad compatible con el tipo de cola empleado y en función del destino de la estructura.
- Selección y clasificación de las tablas según calidades.
- Troceado y empalme de las láminas a fin de realizar las longitudes necesarias a la fabricación.
- Cepillado de láminas.
- Encolado de láminas.
- Armado de los elementos encolados.
- Prensado, a fin de obtener una presión uniforme. Esta presión es función de la cola elegida y de la especie de madera.
- Estabilización de las vigas a temperatura constante después del cepillado sobre las dos caras.
- Trabajos de acabado: entallado, perforado y colocación de los elementos de unión.
- Tratamiento de la estructura.
- Almacenaje de los elementos acabados.

Así fabricada y gracias a los controles efectuados en cada fase de fabricación, la madera laminada aporta todas las garantías desde el punto de vista de la calidad y resistencia del material acabado.

Características de las colas y maderas

La madera laminada, como ya hemos dicho, se compone de dos elementos fundamentales: madera y cola.

El empleo de los diferentes tipos de colas depende de las condiciones de exposición a las que va a estar sometida la estructura.

En el cuadro siguiente se resumen los tipos de colas empleados según las condiciones de explotación.

Temperatura ambiente	Empleo en interior. Humedad de estabilización de la madera < 18 %.	Empleo en atmósfera húmeda. Humedad de estabilización de la madera > 18 %.	Exposición a la intemperie o atmósfera que contiene productos químicos.
elevada (1)	Resorcina-formol. Resorcina-fenol-formol. Caseína. Melamina-formol. Melamina-fenol-formol.	Resorcina-formol. Resorcina-fenol-formol. Melamina-formol. Melamina-fenol-formol.	Resorcina-formol. Resorcina-fenol-formol.
normal (2)	Resorcina-formol. Resorcina-fenol-formol. Urea-Formol. Caseína. Melamina-formol. Melamina-fenol-formol.	Resorcina-formol. Resorcina-fenol-formol. Urea-formol. Melamina-formol. Melamina-fenol-formol.	Resorcina-formol. Resorcina-fenol-formol.

(1) La temperatura ambiente en la proximidad de la estructura supera los 30° en períodos superiores a varias horas consecutivas.

(2) La temperatura ambiente en la proximidad de la estructura no supera los 30° en períodos superiores a varias horas consecutivas.

En cuanto a las maderas, una propiedad importante que deben observar es su aptitud al encolado.

En la Norma Española, que se encuentra en fase de elaboración, se agrupan las especies de resinosas que tienen propiedades mecánicas similares.

Estos grupos son:

G ₁	Pino de Oregón (<i>Pseudotsuga douglasii</i>). Alerce (<i>Larix decidua</i>). Pino palustre (<i>Pinus palustris</i>). Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>).
G ₂	Hemlock Occidental (<i>Tsuga heterophylla</i>). Pino de Paraná (<i>Araucaria angustifolia</i>). Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>). Picea blanca de Canadá (<i>Picea alba</i>).
G ₃	Abeto rojo europeo (<i>Picea abies</i>). Picea plateada de Canadá (<i>Picea sitchensis</i>). Cedro rojo de Canadá (<i>Thuja plicata</i>).

Las maderas de frondosas debidas a su gran variedad, no permiten el agruparlas, debiendo partirse para su utilización de las características mecánicas de cada una de ellas.

Una estructura laminada con madera de densidad media de 450 kg/m³ (fundamentalmente maderas de resinosas) presenta características mecánicas bastante elevadas.

En las tablas siguientes se dan las tensiones aplicables a las maderas de coníferas de los grupos G₁, G₂ y G₃ en estado seco (humedad de la madera < 18 %) y en estado verde.

En la segunda columna de las tablas siguientes se expresa, para cada grupo de maderas, las diferentes clases de maderas según la Norma Española de madera aserrada.

Tensiones aplicables a los grupos de coníferas en estado seco, en kg/cm²

Grupo	Calificación	Flexión paralela a la fibra	Compresión paralela a la fibra	Compresión perpendicular a la fibra	Esfuerzo cortante paralelo a la fibra	Módulo de elasticidad	
						Medio	Mínimo
G ₁	Básica	176	134	25	15	98.500	49.200
	0,75	132	95	22	12		
	0,65	114	77	22	10		
	0,50	88	45	20	8		
	0,40	70	45	20	6		
G ₂	Básica	140	112	21	15	84.400	49.200
	0,75	98	81	18	12		
	0,65	81	67	18	10		
	0,50	63	49	15	8		
	0,40	53	39	15	6		
G ₃	Básica	105	84	15	13	70.300	38.700
	0,75	67	53	13	9		
	0,65	56	42	13	8		
	0,50	45	32	11	6		
	0,40	35	25	11	5		

Tensiones aplicables a los grupos de coníferas en estado verde, en kg/cm²

Grupo	Calificación	Flexión paralela a la fibra	Compresión paralela a la fibra	Compresión perpendicular a la fibra	Esfuerzo cortante paralelo a la fibra	Módulo de elasticidad	
						Medio	Mínimo
G ₁	Básica	140	98	18	14	91.400	45.700
	0,75	105	74	15	11		
	0,65	91	64	15	9		
	0,50	70	49	13	7		
	0,40	56	39	13	6		
G ₂	Básica	112	84	14	14	70.300	42.200
	0,75	84	63	12	11		
	0,65	73	55	12	9		
	0,50	56	42	11	7		
	0,40	45	34	11	6		
	Básica	77	56	11	11		
G ₃	0,75	58	42	9	8	59.800	31.600
	0,65	50	37	9	8		
	0,50	39	28	8	6		
	0,40	31	22	8	4		

Procedimientos generales de cálculo

La determinación de las fuerzas de sección y de las tensiones que originan se realiza aplicando los métodos clásicos de cálculo, desarrollados en los tratados de Resistencia de Materiales.

Las tensiones admisibles que se aplican en los cálculos vendrán afectadas por una serie de coeficientes que pasamos a enumerar:

1. Máximo coeficiente reductor por defecto de las láminas (ver tablas siguientes).

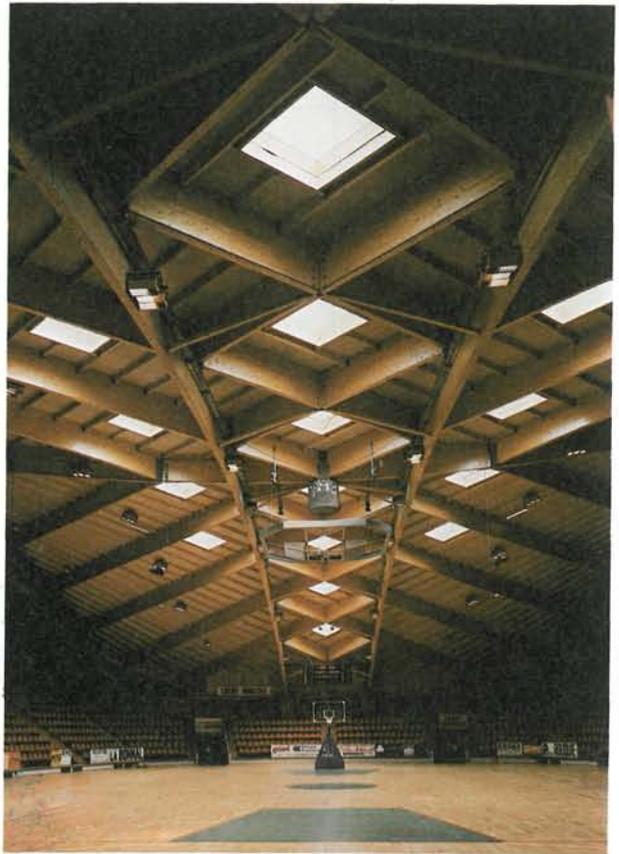
Observamos en esas tablas una clara ventaja que presenta la madera laminada frente a la madera maciza, y es que, por el hecho de la laminación, la madera mejora sensiblemente sus propiedades mecánicas al producirse una dispersión de los defectos, con lo que su influencia en las propiedades de la pieza son mucho menores. Así, vemos que una madera cuya calidad es 0,75 (sus tensiones admisibles son el 75 % de las básicas) por el hecho de laminarse pasa a ser de calidad 1. De forma análoga sucede cuando procedemos a la combinación de maderas de distintas calidades, produciéndose también una dispersión de los defectos y aumentando la calidad mecánica de la pieza.

a) Utilizando láminas de madera de la misma calidad.

Coficiente reductor por defecto de las láminas	N.º de láminas	Tracción paralela a la fibra	Módulo de elasticidad en flexión	Compresión paralela a la fibra	Esfuerzo cortante paralelo a la fibra	Compresión perpendicular a la fibra
0,75	4 ó más	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00
0,65	4	0,68	0,89	0,87	0,90	1,00
	5	0,72	0,89	0,89		
	10	0,77	0,91	0,91		
	15	0,80	0,92	0,92		
	20	0,82	0,93	0,93		
	30	0,84	0,94	0,93		
	50	0,85	0,94	0,94		
100	0,88	0,95	0,95			
0,50	4	0,40	0,77	0,76	0,90	1,00
	5	0,44	0,72	0,78		
	10	0,53	0,82	0,82		
	15	0,58	0,83	0,83		
	20	0,60	0,84	0,84		
	80	0,64	0,86	0,85		
	50	0,66	0,87	0,87		
100	0,70	0,88	0,88			



Complejo deportivo Dureholms halle en Katrineholm (Suecia).

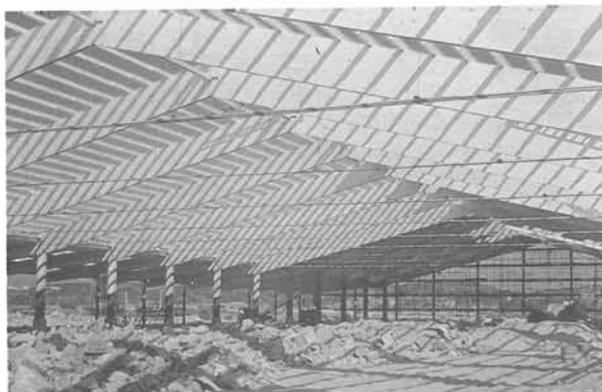


Palacio de deportes de Limoges (Francia). (Fotos cortesía de Condeport).





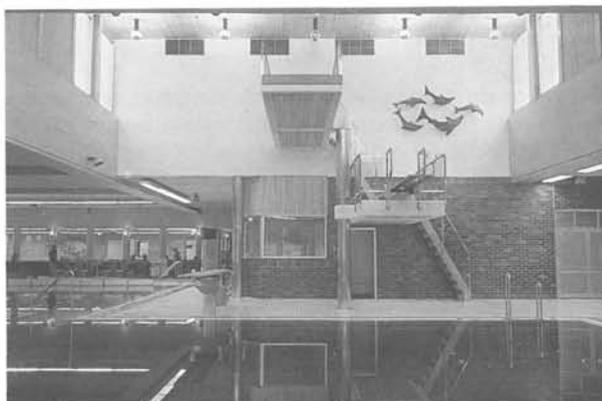
Palacio de deportes de Limoges (Francia). (Fotos cortesía de CONDE-PORT.



Estación terminal en Gothenburg. (Foto cortesía de TOREBODA LIMTRA).



Sala de conferencias. (Foto cortesía de TOREBODA LIMTRA).



Fotografías del complejo deportivo cubierto "Duvholmshallen" en Katrineholm (Suecia). (Cortesía de KURT EVAN SONEHAG).

b). Utilizando combinaciones de láminas de distinta calidad.

Composición	N.º de láminas	Tracción paralela a la fibra	Módulo de elasticidad en flexión	Compresión paralela a la fibra	Esfuerzo cortante paralelo a la fibra	Compresión perpendicular a la fibra
1/3/1 0,75/0,65/0,75 1/2/1 0,75/0,65/0,75 1/4/1 0,75/0,65/0,75	4 ó más	0,95	0,98	0,93	0,90	1,00
1/2/1 0,65/0,50/0,65 1/3/1 1/4/1	4, 5 y 6	0,68	0,88	0,82	0,90	1,00
	10	0,74	0,90	0,85		
	15	0,76	0,91	0,86		
	20	0,78	0,92	0,87		
	30	0,80	0,92	0,88		
	50	0,82	0,93	0,89		
100	0,84	0,94	0,90			

2. Coeficiente según la duración de la carga para piezas sometidas a flexión.

Las tensiones también vienen modificadas según la duración de las cargas, pudiendo soportar las estructuras cargas mayores a las admisibles para larga duración cuando éstas actúen un tiempo relativamente corto.

Duración de la carga	Coeficiente
De larga duración (peso propio y cargas permanentes)	1,00
De duración media (peso propio + nieve, peso propio + cargas eventuales)	1,25
De corta duración (peso propio + cargas de impacto + viento)	1,50

3. Coeficiente según la longitud y posición de los apoyos.

En cualquier apoyo de carga perpendicular a la fibra, las tensiones admisibles en compresión perpendicular a la fibra dependen de la longitud y localización del apoyo.

Las tensiones básicas son admisibles en compresión perpendicular a la fibra, para los soportes de cualquier longitud en los extremos de las piezas y para soportes de 15 o más centímetros de longitud, en cualquier posición de la pieza.

En apoyos de menos de 15 cm de longitud, situados a 8 cm o más de los extremos de la pieza, las tensiones producidas deben multiplicarse por los coeficientes:

Longitud del apoyo (cm)	1,5	2,5	4,0	5,0	8,0	10	15
Coeficiente	1,70	1,53	1,36	1,19	1,14	1,10	1,00

4. Cargas formando ángulo con la fibra de la madera:

Cuando la dirección del esfuerzo forma un cierto ángulo con las fibras de madera en el elemento que se con-

sidere, la carga unitaria admisible en compresión para la superficie inclinada es la siguiente:

$$C_{c\theta} = \frac{C_{cII} \cdot C_{cI}}{C_{cII} \cdot \sin^2 \theta + C_{cI} \cdot \cos^2 \theta}$$

Siendo:

- C_{cII} = carga admisible paralela a la fibra.
- C_{cI} = carga admisible perpendicular a la fibra.
- $C_{c\theta}$ = carga admisible en la superficie inclinada.
- θ = ángulo entre la dirección del esfuerzo y la dirección de las fibras.

5. Esfuerzos cortantes en elementos estructurales trabajando a flexión, rebajados en los extremos.

El esfuerzo cortante en los extremos rebajados en los elementos sometidos a flexión, será el correspondiente a la tensión calculada por su clasificación multiplicada por el coeficiente:

$$c = \frac{\text{Altura efectiva}}{\text{Altura total}}$$

6. Coeficiente de forma para elementos sometidos a flexión.

Las tensiones de clasificación se aplican a elementos de madera sólida o de madera laminada, cuya sección sea rectangular.

Para piezas laminadas de altura superior a 80 cm las tensiones vienen multiplicadas por el factor de forma:

$$c = \frac{d + 922,6}{d + 568} , d \text{ expresado en cm}$$

Para otras formas se han de aplicar los correspondientes factores correctores, así:

- Circular
- Sección cuadrada con cargas según las diagonales

7. Elementos curvos.

Para las partes curvas de una pieza laminada, la tensión de clasificación debe multiplicarse por un coefi-

ciente que exprese la relación entre el espesor y el radio de curvatura: C/R.

Relación C/R	1/100	1/125	1/150	1/175	1/200	1/250	1/300
Coefficiente	0,80	0,87	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95

8. Esbeltez

Las tensiones de clasificación en elementos sometidos a compresión deben modificarse en función de las condiciones de duración de las cargas y la esbeltez de las piezas, con arreglo a los siguientes coeficientes:

Duración de la carga	Valores límites de l/r	Coefficiente
Cargas permanentes	$\leq \sqrt{\frac{11,46 \cdot E}{C_{II}}}$	$1 - 0,0437 \frac{C_{II}}{E} \left(\frac{l}{r}\right)^2$
	$\geq \sqrt{\frac{11,46 \cdot E}{C_{II}}}$	$5,73 \frac{E}{C_{II}} \left(\frac{l}{r}\right)^2$
Cargas de duración intermedia	$\leq \sqrt{\frac{10 \cdot E}{C_{II}}}$	$1,25 - 0,0626 \frac{C_{II}}{E} \left(\frac{l}{r}\right)^2$
	$\geq \sqrt{\frac{10 \cdot E}{C_{II}}}$	$6,24 \frac{E}{C_{II}} \left(\frac{l}{r}\right)^2$
Cargas dinámicas	$\leq \sqrt{\frac{8,62 \cdot E}{C_{II}}}$	$1,50 - 0,087 \frac{C_{II}}{E} \left(\frac{l}{r}\right)^2$
	$\geq \sqrt{\frac{8,62 \cdot E}{C_{II}}}$	$6,46 \frac{E}{C} \left(\frac{l}{r}\right)^2$

siendo:

- r = dimensión transversal menor
- l = longitud de la pieza
- E = módulo de elasticidad
- C = tensión de compresión paralela a la fibra

9. Coeficiente de esbeltez para maderas clasificadas 0,50 y 0,40.

Esbeltez	Valores de coeficiente				
	l/r	l/b	Cargas permanentes	Cargas de duración media	Cargas dinámicas
Menos de	5	1,40	1,00	1,25	1,50
	5	1,40	0,99	1,24	1,49
	10	2,90	0,98	1,23	1,47
	20	5,80	0,96	1,20	1,44
	30	8,70	0,94	1,17	1,40
	40	11,50	0,91	1,13	1,34
	50	14,40	0,87	1,08	1,27
	60	17,30	0,83	1,00	1,10
	70	20,20	0,77	0,90	1,01
	80	23,00	0,70	0,79	0,86
	90	26,00	0,61	0,68	0,72
	100	28,80	0,53	0,58	0,60
	120	34,60	0,40	0,42	0,44
	140	40,40	0,31	0,32	0,33
	160	46,20	0,24	0,25	0,25
	180	52,00	0,20	0,20	0,20
	200	57,70	0,16	0,16	0,17
	200	63,50	0,13	0,14	0,14
	240	69,20	0,11	0,12	0,12
	250	72,20	0,10	0,11	0,11

Para el cálculo de las tensiones admisibles no se aplicarán de forma acumulativa todos los coeficientes, sino que se evaluarán los que intervienen, según el tipo de elemento estructural de que se trate, y se aplicará el menor de todos ellos, salvo los coeficientes de forma y esbeltez que se aplican siempre.

Elección de las formas

Por su fabricación, la sección transversal de los elementos es generalmente rectangular, buscándose una relación h/b elevada a fin de obtener una inercia máxima con una sección dada.

Las anchuras habitualmente utilizadas dependen de las dimensiones comerciales de la madera aserrada. Las más frecuentemente empleadas son 11,5, 13,5 y 16 cm.

La elección de la forma y de la sección es uno de los elementos importantes en el estudio económico de un proyecto.

Los elementos estructurales actualmente más empleados en madera laminada son los siguientes (ver cuadro en la página siguiente).

Vigas rectas

Bajo el punto de vista económico, la utilización de vigas rectas supone un cierto ahorro de madera y cola en la fabricación de los elementos, sin embargo esta solución limita las luces a una treintena de metros.

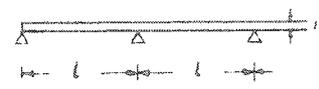
En lo que concierne a su utilización, una solución interesante es el empleo de elementos standard prefabricados de débil sección (por ejemplo, hasta 50 cm de altura) a fin de reemplazar la madera maciza por la laminada, así como también los materiales tradicionales de construcción, pues la ligereza es mucho mayor.

Pórticos y arcos

Aparte de las vigas laminadas, son los pórticos y arcos los tipos estructurales más empleados en las construcciones de madera laminada.

En general, tanto pórticos como arcos, se suelen hacer triarticulados —con rótulos en arranque y clave— para facilitar su montaje.

Los pórticos a dos aguas triarticulados se hacen de sección variable, con espesor máximo en la iniciación del dintel y coronación del pilar, y mínimo en arranques y clave. Naturalmente, todas las secciones intermedias entre arranques y claves están sometidas a compresión excéntrica, y sus secciones transversales deben ser capaces de resistir estas solicitaciones. En arranques y clave, es el esfuerzo cortante el que predomina. En la práctica, el canto en arranque y clave viene a estar comprendido entre 5/8 y 3/4 del espesor co-

Sistema estático	Danominación	Pendiente (grados)	Luces normales l (m)	Altura de los elementos estructurales
	Viga simple con dos apoyos	0	10-30	$h \sim \frac{1}{17}$
	Viga continua con varios apoyos	0	10-25	$h \sim \frac{1}{20}$ $h_1 \sim \frac{1}{16}$
	Viga angular con dos apoyos	3-15	10-30	$h_2 \sim \frac{1}{30}$
	Viga en celosía	0	30-60	$h \sim \frac{1}{13}$
	Viga en ménsula con apoyo inferior fijo	0-12	5-15	$h \sim \frac{1}{10}$
	Viga bi o triarticulada con tirante	> 12	15-50	$h \sim \text{desde } \frac{1}{18} S$ $a \frac{1}{20} S$
	Arco bi o triarticulado	$f \geq 0,135$	20-100	$h \sim \frac{1}{50}$
	Pórtico	0-60	15-60	$h \sim \frac{1}{15} (S_0 + S_u)$ $a \frac{1}{20} (S_0 + S_u)$
	Estructura de luces múltiples	0-15	10-25	$h \sim \frac{1}{20}$

Siendo de éstos los más ampliamente empleados las vigas rectas, los arcos y pórticos.

respondiente a las secciones extremas de la zona curvada. Estas dimensiones pueden ser más reducidas, pero no es conveniente, ya que a veces se alcanzan deformaciones importantes, y además, hay que verificar gran número de secciones intermedias.

Cuando se proyectan arcos, éstos suelen ser de sección constante en toda longitud. Si el faidón tiene poca inclinación, el radio de curvatura del codo es muy pequeño; y en este caso la solución económica para conseguir radios de curvatura mayores consiste en

sostener parte de la cubierta mediante una viga inclinada que se apoya en el dintel y soporte.

Uniones

Las uniones entre los diversos elementos constitutivos de una estructura tienen funciones que deben ser armonizadas con las funciones correspondientes de los elementos laminados.

Una de las funciones fundamentales es de carácter mecánico y consiste en transmitir los esfuerzos, bien

de una pieza a otra, o bien de una pieza a la infraestructura de los soportes.

El ensamblaje entre las piezas de unión y la madera se realiza por bulones perpendiculares al eje de la pieza y paralelos a sus planos de encolado. De una manera general, cada vez que se busca una gran rigidez en la unión, se utiliza mayor número de bulones de diámetro inferior. Esta rigidez puede ser necesaria, por ejemplo, para limitar los deslizamientos en el caso de estructuras donde el cúmulo de deslizamientos en un gran número de ensamblajes podría perjudicar la estabilidad de la estructura, o incluso en el caso de arcos de muy débil flecha en los que un ligero deslizamiento puede afectar profundamente el tipo de funcionamiento de la estructura (paso de funcionamiento como arco comprimido, a un funcionamiento de viga en flexión). Cuando la pieza de unión asegura una articulación, ésta se realiza generalmente en dos piezas ensambladas por un

eje, cuyo dimensionamiento se hace en función de las reglas clásicas de construcción.

Una excelente precaución consiste en no asegurar la transmisión de los esfuerzos más que por intermedio de bulones y órganos complementarios sin tener en cuenta contactos directos entre el herraje y la madera.

Hay que señalar igualmente que las reglas actuales precisan la necesidad de una simetría de los ensamblajes con relación al plano medio de cada pieza ensamblada.

En las figuras siguientes se detallan las uniones más utilizadas en los distintos tipos de estructuras.

En la figura 1 se representa la forma de realizar una rótula perfecta, utilizando piezas construidas con chapas de acero y unidas por un pasador.

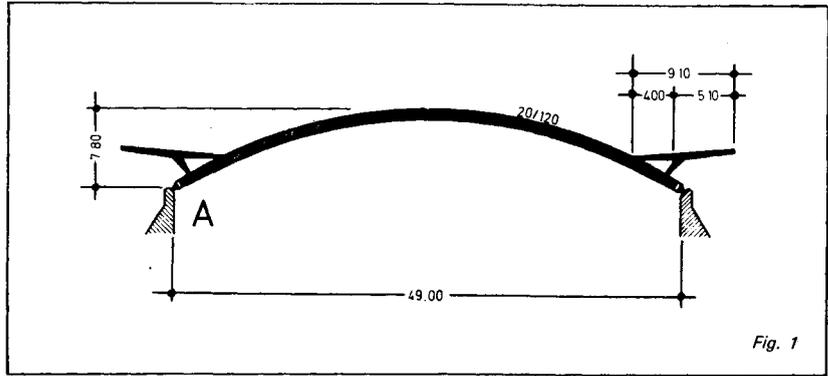
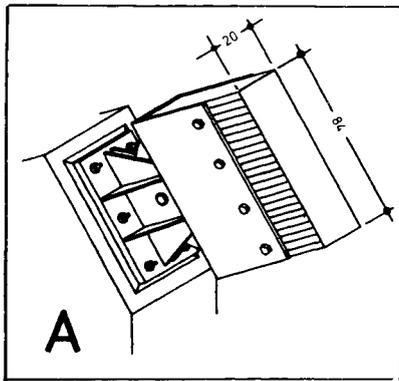


Fig. 1

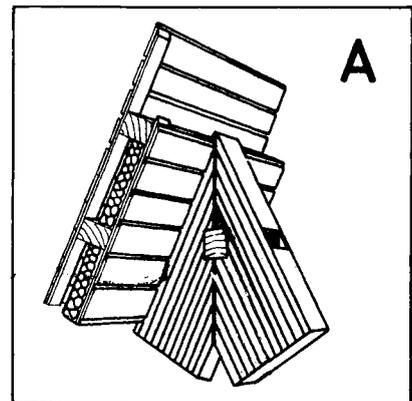
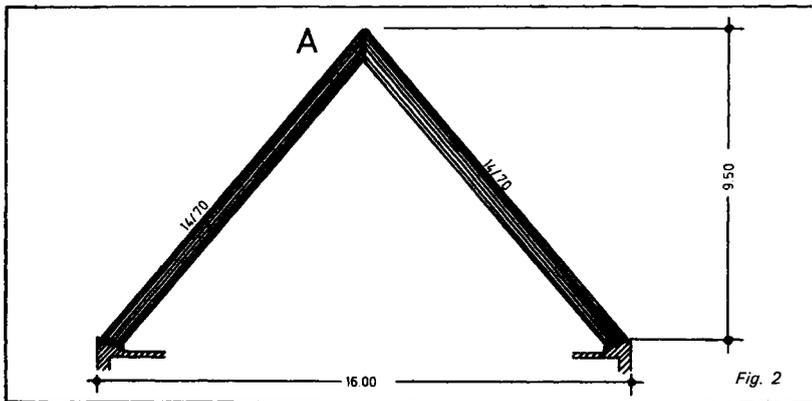


Fig. 2

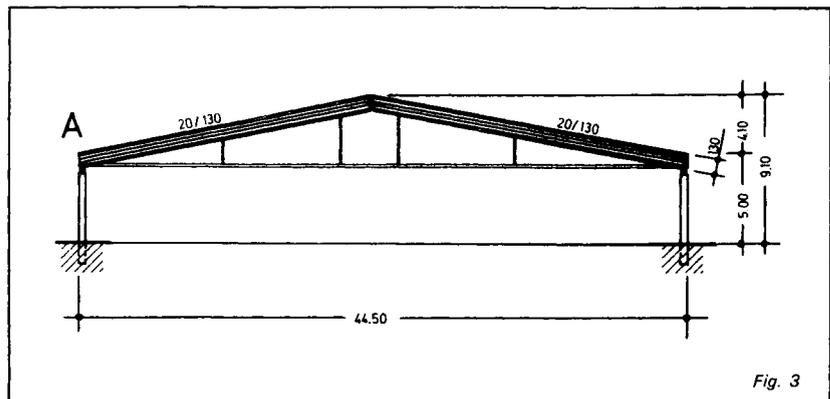
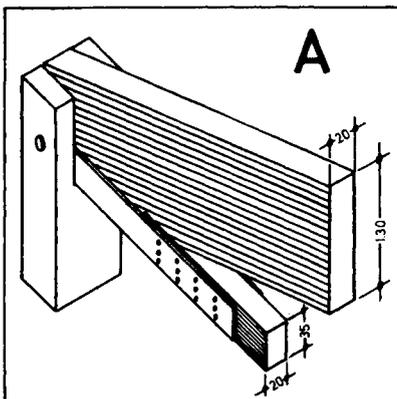


Fig. 3

La figura 2 corresponde a un pórtico con los faldones muy apuntados. Este dispositivo permite transmitir cargas horizontales y verticales.

La unión se hace empleando una pareja de llaves de disco, colocadas espalda con espalda, y un perno cuyas cabezas y arandelas se alojan en cajetines realizados en las piezas de madera. A veces los extremos de las piezas llevan un ligero chafán para evitar su aplastamiento.

En los arcos y pórticos atirantados es muy importante el enlace del cordón con el tirante. La solución que muestra la figura 3 consta de una pieza metálica con la forma adecuada para recibir el empuje y transmitir al tirante el esfuerzo horizontal.

La unión de las correas con el dintel puede efectuarse, si las viguetas se colocan con su paramento superior enrasado con el dintel del pórtico o arco, mediante unas piezas especiales de acero, que sirven para alojar directamente la correa.

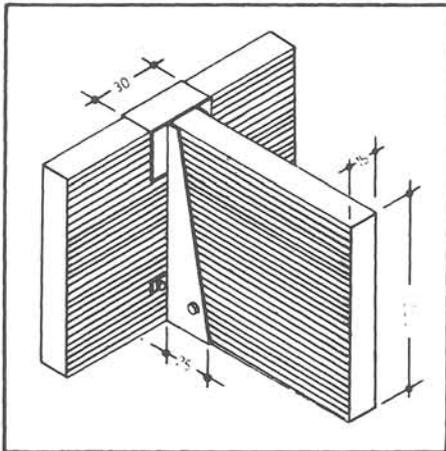


Fig. 4

Existe además otro tipo de uniones, destinadas a asegurar una continuidad en el material mismo, encontrándose dos variedades principales:

- La junta de transporte necesitada por las limitaciones impuestas al efectuar el transporte de los elementos por carretera.

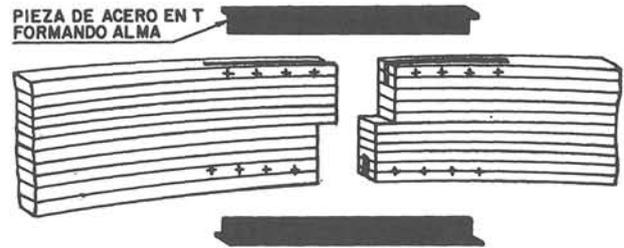
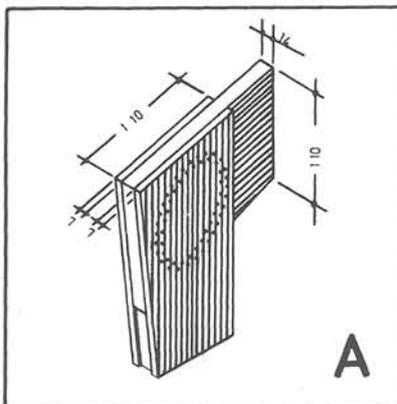


Fig. 5.—Junta de transporte para arco de media y gran luz.

- El ensamblaje en ángulo destinado a encastrar mutuamente dos elementos, en general rectos pero alineados, y que surge de la imposibilidad tecnológica de reducir a voluntad los radios de curvatura.

En el primer caso la unión se colocará, en la medida que sea posible, en un punto de momento nulo bajo el efecto de las cargas verticales. Sin embargo, la existencia de momentos de flexión bajo la acción del viento, conduce a prever los ensamblajes susceptibles de

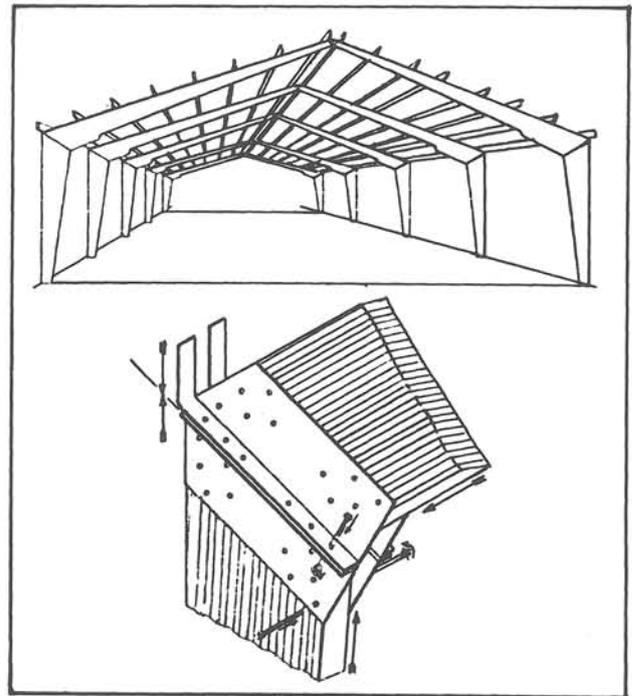


Fig. 7.—Detalle de ensamblaje en ángulo por uniones metálicas.

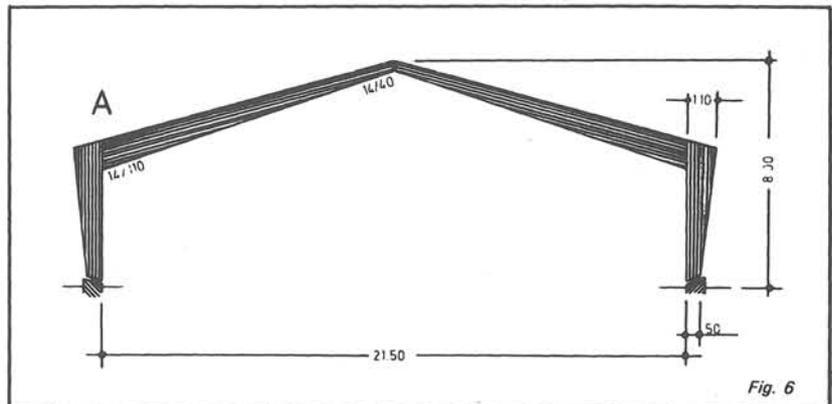


Fig. 6

absorber tanto los esfuerzos de flexión como los normales.

En el segundo caso (uniones de ángulos) por el contrario, los momentos de flexión a absorber son los más intensos, y la concepción de la unión es uno de los puntos críticos de la construcción. En las figuras 6, 7, 8 y 9 se observan las soluciones constructivas más empleadas. Presentando la unión por entalladuras múl-

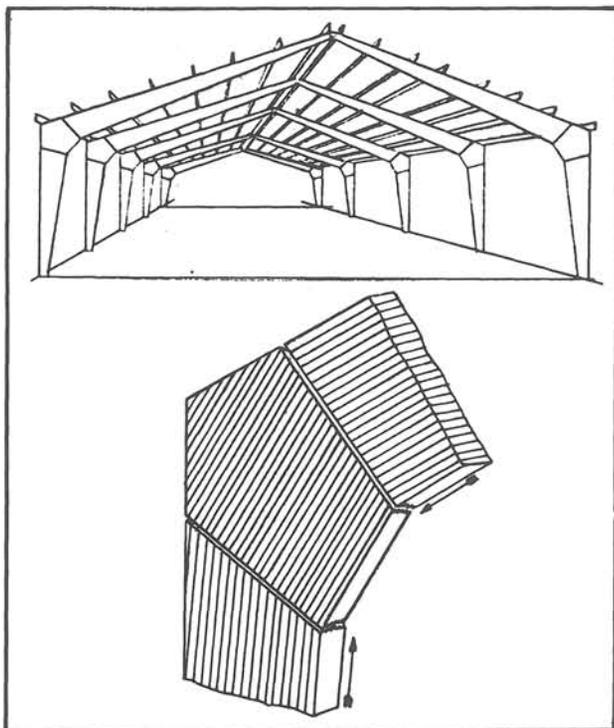


Fig. 8.—Detalle de ensamblaje en ángulo por cuña de madera laminada.

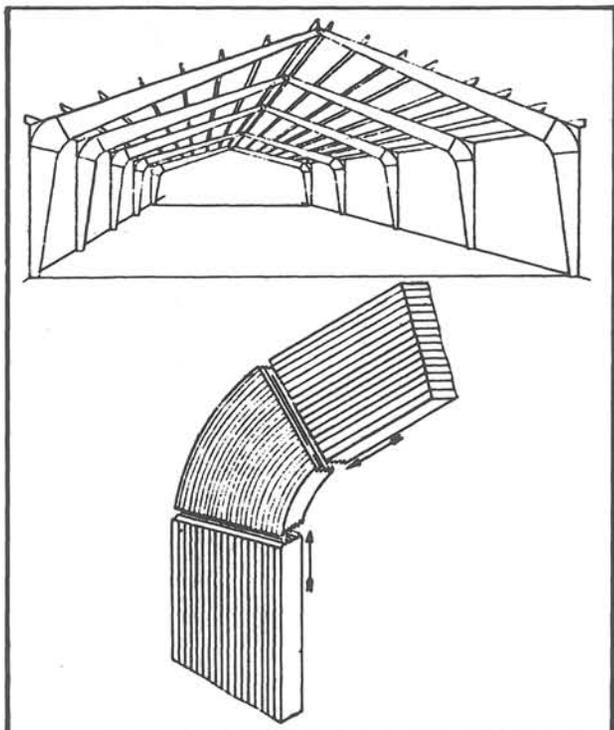


Fig. 9.—Ensamblaje por entalladuras múltiples.

tiples, según la bisectriz del ángulo, en las juntas de las piezas encoladas hay una rigidez superior a la que se puede alcanzar mediante el empleo de elementos metálicos.

Ventajas técnicas de las construcciones de madera laminada

La madera laminada es, ante todo, madera y presenta por ello las cualidades bien conocidas propias de este material. Enumeraremos sucintamente las siguientes:

- Buenas características mecánicas debido a la baja densidad. Ello se traduce en cotas de calidad (relación de resistencia mecánica a la densidad) muy elevadas y del mismo orden que las de ciertas aleaciones ligeras.
- Un excelente comportamiento a la flexión y la compresión.
- Débil conductividad térmica.
- Ausencia de dilatación térmica.
- Variaciones dimensionales según el sentido axial (paralelo a las fibras) prácticamente despreciables bajo el efecto de las variaciones de humedad.
- Una gran estabilidad química.
- Características mecánicas muy poco variables en función de la temperatura.
- Una gran resistencia al fuego y un comportamiento perfectamente previsible.
- Gran facilidad de trabajo y ejecución de las uniones químicas y mecánicas (encolado, atornillado, clavazón, pernos, etc.) con la mayor parte de los materiales de construcción.

A estas propiedades hay que añadir las que se obtienen por la laminación, y que han sido enumeradas al comienzo de este artículo, deduciéndose del conjunto de estas características claras ventajas técnicas que no deben escapar a los diseñadores:

- La posibilidad de realizar grandes luces libres.
- La prefabricación, que si a veces es la causa de alguna preocupación para su transporte en los casos extremos, permite, por el contrario, racionalizar y reducir considerablemente los tiempos de montaje y puesta en obra. En efecto, al tratarse de elementos prefabricados relativamente ligeros, su puesta en obra raramente plantea problemas, obteniéndose un ahorro de tiempo muy apreciable si lo comparamos con el empleado en una construcción análoga con materiales tradicionales.
- La ligereza del conjunto de la estructura, siendo la relación del peso muerto a las cargas climáticas o de explotación más baja, a igualdad de luz que la de la mayor parte de los demás materiales, lo que conduce a un aligeramiento notable de las fundaciones, así como una economía global sobre la construcción y que permite, en ciertos casos, edificar una estructura sobre terrenos de consistencia más débil.
- La posibilidad de ampliaciones y modificaciones de edificios sin gran dificultad.

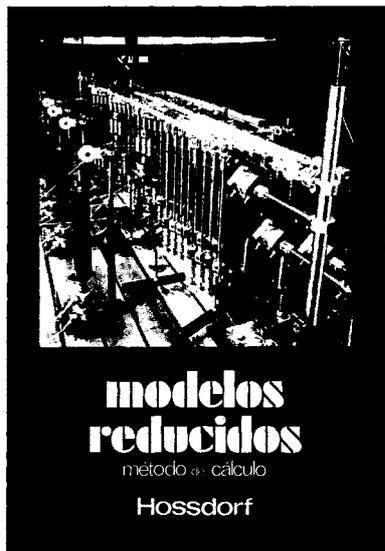
- La excelente resistencia a los ataques químicos, lo que incide de forma creciente en la utilización de este tipo de estructuras para el almacenaje de productos activos y para la construcción de edificios que deben soportar una atmósfera salina. Esta importante propiedad hace a la madera laminada mucho más adecuada que el acero o el hormigón en edificios en los que los riesgos de corrosión son elevados, tales como: fábricas de productos químicos, papeleras, tintorerías, piscinas, construcciones agrícolas, silos de almacenaje de productos corrosivos, etc.
- La alta resistencia de la madera al fuego, la cual se encuentra incrementada por las secciones que generalmente se utilizan en las obras de madera laminada y que confiere a la estructura una resistencia que excede ampliamente las exigencias de las nor-

mas de seguridad. Esta propiedad hace que sea cada vez más utilizada por los arquitectos cuando se requiere un alto nivel de seguridad, ya sea para seguridad de las personas como para permitir la evacuación eventual de equipos costosos; por otra parte, las compañías de seguros tienen la tendencia, cada vez más frecuente, a tener en cuenta en sus tarifas estas particularidades.

- Junto a estas ventajas hay que añadir las indiscutibles características estéticas de este tipo de material. Las estructuras de madera laminada tienen un aspecto generalmente muy agradable en razón de las curvaturas «naturales» que comportan, del carácter macizo de las secciones rectangulares utilizadas, de la variabilidad de las citadas secciones y del aspecto superficial. Factores estos que pueden ser ampliamente interpretados por los arquitectos.



publicaciones del I.E.T.c.c.



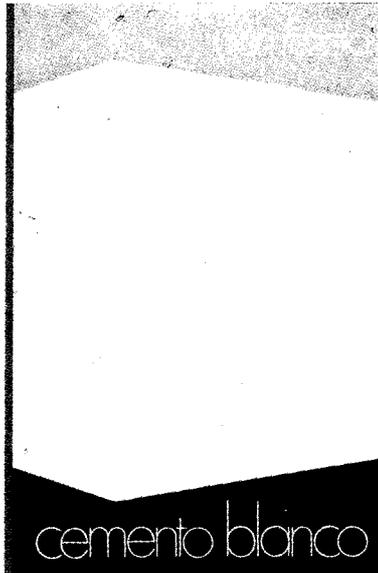
Modelos reducidos. Método de cálculo

H. Hossdorf, Ingeniero Civil

La técnica de los ensayos en modelos reducidos de estructuras sufre hoy día una decisiva metamorfosis. Hasta hace poco era un medio más bien de artesanía, que no siempre era tomado en serio por los académicos teorizantes para comprender el comportamiento resistente de las estructuras complejas y al que se acudió las más de las veces, como a un último remedio debido a sus indiscutibles insuficiencias. Sin embargo, en poco tiempo y gracias a su conexión con los ordenadores digitales, se ha transformado en un instrumento científicamente valioso, que no puede quedar a un lado en la práctica diaria del Ingeniero Proyectista.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 17 x 24 cm, compuesto de 250 páginas, 158 figuras y fotografías.

Precios: 1.800 ptas.; \$ USA 26.00.



Cemento blanco

Julián Rezola
Ingeniero Químico Dipl. I. O. S.

Sabido es que existe una extensa y documentada bibliografía sobre el cemento gris; en cambio, no puede decirse lo mismo acerca del cemento portland blanco, ya que los escritos existentes se refieren tan sólo a algunas peculiaridades que le distinguen de aquél.

El autor nos ofrece sus profundos conocimientos y su larga experiencia tanto en laboratorio como en fabricación.

La parte descriptiva del libro se complementa con gráficos, diagramas y fotografías de gran utilidad, destinados a conseguir la aplicación apropiada de este aglomerante.

Un volumen encuadernado en cartón policerado, de 17,4 x 24,3 cm, compuesto de 395 páginas, numerosas figuras, tablas y ábacos.

Precios: España, 1.700 ptas.; extranjero, \$ 34.



La presa bóveda de Susqueda

A. Rebollo,
Dr. Ingeniero de Caminos

El esfuerzo del constructor de presas se sitúa, por su pretensión de perennidad, a contracorriente de las tendencias de la civilización actual, caracterizada por lo fungible. Pueden evocarse las 10.000 grandes presas en funcionamiento o en construcción que están envejeciendo y reclaman los cuidados gerontológicos para mantener y perfeccionar su servicio y garantizar su inalienable pretensión de perennidad. En la medida en que todas nuevas obras, grandes o pequeñas, son portadoras de riesgos ecológicos y, a veces, catastróficos, que aumentan con el envejecimiento, la gerontología de las presas es todo un empleo. La acción adelantada de Arturo Rebollo en este terreno marca un camino a seguir para todos los que aman su propia obra con la devoción paternal que él ha puesto en Susqueda.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 18 x 24,5 cm, compuesto de 408 páginas, 330 figuras y fotografías y 39 tablas.

Precios: 1.700 ptas.; extranjero, \$ USA 24.00.