

estudio sobre encofrados de madera modernos

Juan M. de la Peña Aznar, Dr. Ingeniero Industrial

836-13

sinopsis

En este artículo se compendia casi toda la literatura existente, así como importantes aportaciones del autor, sobre encofrados, capítulo importante en la construcción, ya que su costo resulta no pocas veces tan elevado o más que el propio hormigón vertido.

Así pues en beneficio de arquitectos, ingenieros, encargados y carpinteros se dan datos, cuadros y ábacos para el empleo racional de los citados encofrados, sean de madera, metálicos, etc.

PARTE III

PROPIEDADES DE LOS MODERNOS MATERIALES PARA ENCOFRAR

Los modernos materiales para construir encofrados altamente tecnificados, que producen importantes economías en la mano de obra, que es el «caballo de batalla» contra el que lucha el ingeniero de proyectos o de métodos y el ingeniero responsable de la obra, y que además simplifican su manejo en obra, mecanizándolo al máximo posible hoy por hoy, son:

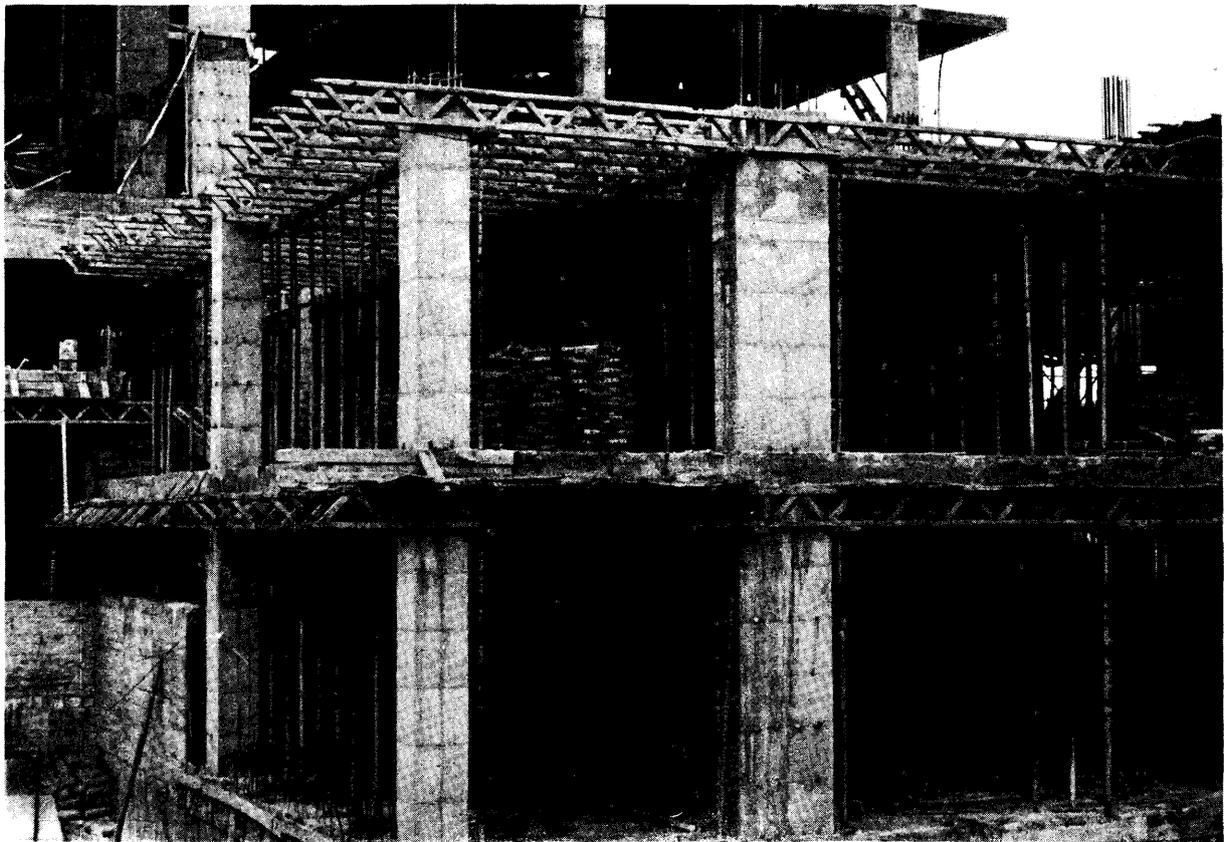
- las vigas de madera encolada,
- los tableros estabilizados fenólicos,
- los puntales telescópicos de doble pasador,
- los anclajes recuperables,
- accesorios varios,

los cuales pasamos a describir ordenadamente.

1. Vigas de madera encolada. Su origen e historia

La viga de madera encolada en celosía tipo Warren, sin elementos metálicos de ninguna especie para construir sus nudos, apareció en Alemania en 1959, siendo su inventor el Ing. Dipl. Manfred Steidle-Sailer, experto ingeniero en construcción y a la vez en carpintería, pues era y es (en el momento de redactar este trabajo) el continuador de una larga generación de constructores y carpinteros alemanes, cuya empresa familiar arranca de 1823.

La idea surgió para contrarrestar la competencia que a partir de 1945, finalizada la II Guerra Mundial, el metal empezó a hacerle a la madera en cercos de puertas, encofrados, esquinas de pilares, cimbras de puentes, armaduras de naves, carpintería de ventanas, puntales telescópicos, llegando incluso a las vigas metálicas extensibles para sostener forjados de plantas durante su fraguado.



Marbella - Málaga

Como la viga de madera encolada posee indudables ventajas sobre sus homónimas metálicas, la viga ideada por el señor Steidle-Sailer fue abriéndose camino en el duro luchar de todo producto nuevo, aunque sea en un país tan tecnificado como Alemania, pues sus ventas desde el año en que la ideó 1957 hasta 1959 (véase Fig. 4*) fueron más bien simbólicas, y permitieron a su inventor ensayar con paciencia su invento hasta mejorarlo y abaratarlo, tal que pudiera iniciar en dicho año, 1959, las ventas a terceros.

Como se ve por la referida Fig. 4* los incrementos de ventas de la viga Steidle fueron de:

1959 a 1960	+ %	1968 a 1969	+ 35,3%
1960 a 1961	+ 73,0%	1969 a 1970	+ 39,1%
1961 a 1962	+ 37,1%	1970 a 1971	+ 12,5%
1962 a 1963	+ 18,2%	1971 a 1972	+ 26,8%
1963 a 1964	+ 7,7%	1972 a 1973	+ 14,2%
1964 a 1965	+ 30,4%	1973 a 1974	0,0%
1965 a 1966	+ 10,0%	1974 a 1975	- 24,0%
1966 a 1967	0,0%	1975 a 1976	0,0%
1967 a 1968	+ 34,5%	1976 a 1977	+ 26,0%
		1977 a 1978	- 30,0%

Naturalmente las ventas a terceros en Alemania de la viga Steidle fueron omeopáticas y de ahí los fuertes crecimientos en % registrados los primeros años de su comercialización sin competencia en el mercado alemán. Pero las cifras absolutas de ventas, al final de la década de los 60, ya eran sensibles y de ahí que apareciera la primera competencia con el nombre comercial de Peri en 1969. Posteriormente apareció en Austria, y al poco tiempo en Alemania, la viga Doka de alma llena, y por último en 1975 ha salido al mercado la viga Acrow-Wolff tipo Vierendel.

* Parte I publicada en el n.º 318 de esta Revista.

Paralelamente al desarrollo que la viga de madera encolada para encofrados en el mercado, en 1961 comenzó su inventor la exportación a los países vecinos, Bélgica; Holanda; Francia, y Suiza, y el autor de este trabajo introdujo tal viga en España, en 1972.

Las ventajas que ofrece la viga de madera encolada sobre su oponente metálica son:

- Empleo indistinto de las mismas en encofrados de planta o de muro.
- Ausencia total de grapas; enganches; sujeciones; etc., en resumen, pequeño piecerío costoso, de fácil-extravío sobre todo en obra, necesario para la sujeción del forro del encofrado a la viga metálica en el caso de muros.
- Ligereza de los paneles de encofrado prefabricados de hasta 20 m², que pueden moverse en obra con grúas-torre normales de 600 kp de fuerza en punta.
- Ligereza de la viga en sí, respecto de la metálica, de manera que la puede manejar un solo hombre (ver Cuadro 3. Parte I).
- Gran durabilidad que alcanza las 180 puestas, para vigas normalmente tratadas, con ausencia de gastos de entretenimiento, costoso en el caso de las metálicas.
- Economía de mano de obra comprobada en España del orden de un 30 %.
- Economía de inversión por metro cuadrado de encofrado completo respecto del metálico.
- Eliminación de la mano de obra especializada difícilmente definida para los encofrados metálicos, que tiene que ser medio carpintero, medio montador de estructuras metálicas resucitándose el tradicional encofrado de madera, cuyo material es el más apto para un buen fraguado del hormigón, y para darle una superficie adecuadamente rugosa, pero modernizado y tecnificado.

1.1. Tipos de vigas de madera: características

Normalmente las vigas de madera encolada se construyen con un canto único de 360 mm, con cordones superior e inferior de 97 × 60 mm en la tipo Steidle-Tregar y de 100 × 70 mm en la Peri. En cuanto a la Doka se construyen con tres cantos: el ya citado de 360 mm, el de 300 mm —que tiene cordones de 53 × 96 mm— y el de 200 mm —con cordones de 40 × 80 mm—. En cuanto a la Lübbert, se fabrica en muy diversos cantos y dimensiones de cordones, pero esta viga no está pensada para armar encofrados sino para construcciones estables de madera.

La celosía de las vigas Steidle-Tregar y Peri, ya hemos dicho en el Cuadro n.º 3 que es tipo Warren, y la de la primera está formada por dos barros de escuadría de 30 × 60 mm, mientras que las Peri, que en sus comienzos adoptaron este sistema y dimensiones, hoy las hacen con un solo barrote de 60 × 60 mm, lo cual es un inconveniente para resistir momentos de torsión, y además se sabe que en la madera cuanto más gruesa sea la escuadría, más tiende al alabeo y torceduras.

En la Parte VII estudiaremos con detalle los esfuerzos que se desarrollan en las barras o elementos constitutivos de cada tipo de viga, por lo que aquí solamente señalaremos, para la viga tipo Doka, que en su alma se desarrollan unos esfuerzos cortantes y otros iguales a éstos pero perpendiculares a los mismos, que son los esfuerzos rasantes, peligrosos en la unión del alma con los cordones.

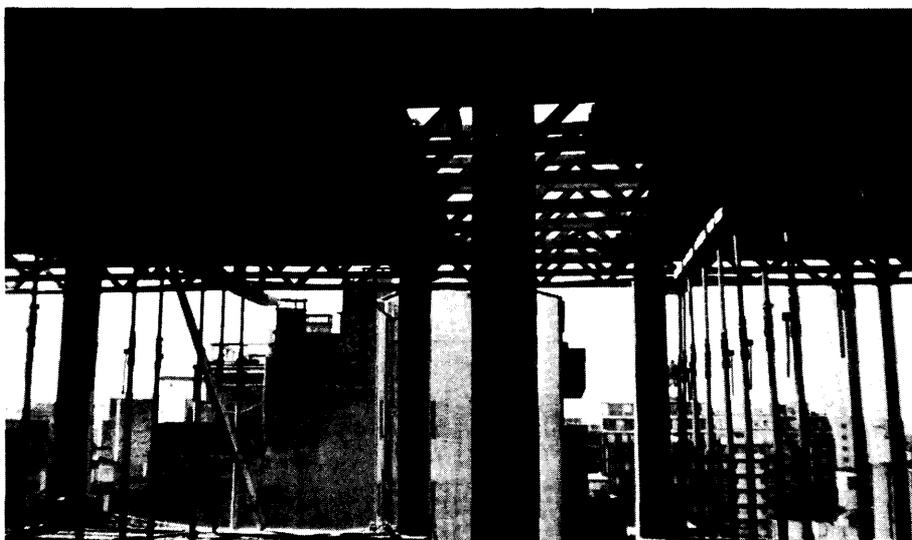
Respecto a la última, la tipo Vierendel, Acrow-Wolff, está formada por cordones dobles de 35 × 95 y entre ellos los montantes de los 360 mm de canto, que también tiene esta viga con ancho de 170 mm y con un espesor de 13 mm. El inconveniente más importante de esta viga es su deficiente capacidad para resistir esfuerzos cortantes, que en el epígrafe 5 de la Parte I hemos demostrado que son normalmente los predominantes en el cálculo de vigas de madera para encofrados, recordando que la luz límite entre apoyos, materializados por los anclajes de que hablaremos más adelante, es de 3,2 m, es decir, que de 0 a 3,2 m de luz el esfuerzo predominante en el cálculo es el cortante, y solamente a partir de esa luz es predominante el momento flector.

Ahora bien: por consideraciones constructivas de la tensión que pueden resistir los anclajes, éstos, que son los apoyos de las vigas de madera encolada para encofrados, se colocan a menos de 3,2 m en la inmensa mayoría de los casos, y de ahí que la viga Acrow-Wolff esté en peores condiciones de resistencia que todas sus competidoras, pues al ser tipo Vierendel, no tiene diagonales, por lo que resiste peor los cortantes y una vez cargada da más flecha que las otras que son isostáticas.

Todas las vigas de madera encolada para encofrados se construyen con una cierta contraflecha, que depende del tipo de viga de que se trate. En el caso de la Steidle-Tregar es de 1,7 mm/m. Un defecto importante de la viga **DOKA**, es que no tiene contraflecha.

Por último, las longitudes en que se construyen tales vigas son un múltiplo de su canto a ejes de cordones, 300 mm, y del hecho de que la celosía forme un ángulo de 45° con los cordones, lo que da un módulo de 640 mm. Así las longitudes de fabricación (señalando con un asterisco las usuales) son:

- 2,40 m
- 2,40 m –4,10 m
- 2,80 m *–4,35 m
- *–3,05 m –4,74 m
- 3,45 m –5,38 m
- *–3,70 m –6,02 m



obra de viviendas en Barcelona

1.2. Especie forestal de la madera de vigas

Antes de definir la especie forestal de la madera empleada en la fabricación de vigas, creemos conveniente profundizar en la constitución de la madera en general en sí, lo que facilitará la comprensión de ciertos fenómenos o manipulaciones que se llevan a cabo con la madera como materia prima.

Desde un punto de vista científico se llama madera el conjunto de xilema que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos.

La estructura de la madera es tubular en sentido longitudinal, con ejes aproximadamente paralelos al del tronco o ramas, y también tubular en sentido transversal, con los ejes en las direcciones de los planos radicales quedando representada en la Fig. 1 de la Parte I.

Tal estructura es resistente y ligera por sí misma, pero además, debido a la estructura particular de las paredes de esos tubos, las dos características anteriores se dan inmejorablemente en la madera.

De ahí lo dicho en el último párrafo del epígrafe 5, y las conclusiones que se extraen del Gráfico n.º 1 de la Parte I, que nos demuestra que la madera es el material utilizado por el género humano en que la relación Resistencia/ Peso específico es la más alta.

Sin embargo ya hemos dicho que las paredes de los tubos tienen una estructura particular, y ello sí que es un punto importante para conseguir alta resistencia con bajo peso específico.

Del estudio microscópico de la madera se desprende que la pared celular tiene una estructura fibrilar, con zonas sólidas y otras formadas por líquidos más o menos viscosos. Esa estructura fibrilar en la anatomía de la madera, se dice que está constituida por microfibrillas y éstas, a su vez, por otras de dimensiones menores denominadas fibrillas elementales. Las Figs. 1 y 2 representan lo que se ve al microscopio electrónico.

La madera conífera tiene pocos elementos diferentes, pues la traqueida constituye el 90 % de la madera, y de ahí la gran homogeneidad estructural de las coníferas en contraposición con las frondosas.

La madera es un material de construcción anisótropo por la existencia de los nudos, originados por la unión de las ramas con el tronco, que a veces están desprendidos de la madera base y se les califica nudos «saltadizos». Esta discontinuidad, aparte de que los esfuerzos que resiste la madera son distintos, según trabaje en el sentido de sus fibras o perpendicularmente a éstas, le introduce al ingeniero proyectista una indeterminación mayor que la del acero, por ejemplo, y de ahí que las tensiones admisibles en la madera sean obtenidas respecto de los de rotura, con un coeficiente de seguridad mucho mayor que los que modernamente se emplean en el caso del acero, por ejemplo.

Tras numerosas tentativas del inventor señor Steidle, la mejor especie es la siguiente:

- Nombre botánico Pinus Sylvestris L.
- Nombre Comercial europeo Madera blanca, calidad U/S con 25 % de 5.^a Humedad 12 %.
- Nombre Comercial español Pino Norte, o de Suecia o del Báltico, calidad US («como cae»), o sea, sin clasificar y un 25 % de 5.^a, equivalente a un 2.^a de Soria. Humedad 12 %.

1.3. Características físico-mecánicas de la madera

De la revista n.º 71 AITIM tomamos las siguientes características físico-mecánicas de la madera antedicha con un 12,8 % de humedad:

— Peso específico	480 kg/m ³
— Tensión de rotura a flexión estática	850 kp/cm ²
— Módulo de elasticidad a flexión estática	101.000 kp/cm ²
— Tensión de compresión paralela a fibras	453 kp/cm ²
— Dureza perpendicular a fibras	263 kp
— Cortante paralelo a fibras a rotura	115 kp/cm ²
— Resistencia a la raja en plano radial	10 kp/cm de anchura
— Resistencia a la raja en plano tangencial	11 kp/cm de anchura
— Densidad para humedad del 51 %	624 kg/m ³
— Densidad para humedad del 12,8 %	480 kg/m ³ .

Los técnicos suecos han logrado crear un pino, que ya casi es un abeto, a base de criarlos en invernaderos, y cuando tienen como un palmo de altura los trasplantan a una región de Suecia que la denominan «caliente», sembrados los arbolillos muy juntos, para obligarles a crecer rápida y verticalmente, buscando el árbol poder hacer su función clorofílica, que le es indispensable para su desarrollo, el cual está forzado además con abonos especiales del terreno.

Como Suecia tiene pocas horas anuales de insolación, y además al estar los árboles trasplantados muy cerca unos de otros, las ramas se hacen sombra entre sí, reciben poco, o casi nada de sol, y no se desarrollan, de ahí que ese pino sueco tenga muy pocos nudos, y los que tiene son muy pequeños y no saltadizos, con lo que los técnicos agrónomos, o mejor de montes, de dicho país, han conseguido una madera de una gran homogeneidad, aunque no muy densa, pero la primera ventaja compensa con creces el inconveniente de su liviandad, y le permite al ingeniero calculista confiar plenamente en las vigas construidas con esa madera.

1.4. Ficha tecnológica AITIM de la madera

Nombres de la madera:

- Comercial español: Pino Serrano (Sierra de Gredos)
Pino Albar (Cuenca, Soria y Guadarrama Occ.)
Pino Valsáin (Valsáin y Resto Guadarrama)
Pino rojo (Pirineo Aragonés)
Pi rojal y Pi blancal (Cataluña)
- Comercial italiano: Pino silvestre.
- Comercial francés: Pi sylvestre
- Comercial inglés: Scotch pine
- Comercial alemán: Gemeine triefler.

Esta especie ocupa el primer lugar entre las coníferas europeas por la magnitud de su área, que se extiende desde Escocia hasta el Ural, y desde nuestra Sierra Nevada hasta el norte de Noruega. También se encuentran montes de este pino en el Noroeste de Asia.

En España forman grandes masas en los Pirineos, Cordillera Ibérica y Central, siendo muy célebre el pinar de Valsáin por sus altos y rectos ejemplares de excelente calidad de madera.

Las características macroscópicas de la estructura leñosa, presenta albura de color amarillo pálido y el duramen más o menos rojizo.

La diferenciación entre ambas zonas es más acusada en la sección transversal de los pinos recién cortados, en los que aparecen los anillos de la albura, en su zona de verano, llenos de gotitas de resina procedentes de los canales resiníferos cortados transversalmente; por el contrario, el círculo central, correspondiente al duramen, no tiene resina porque al morir las células de los canales resiníferos han dejado de secretar dicho producto.

La madera es de cualidades variables según los hábitat de que procede, aunque en general esta madera es siempre bastante ligera, elástica, resistente y durable, especialmente la procedente de los pinares de Valsáin, que aparte de las ventajas expuestas se caracteriza por su facilidad de trabajo.

Tanto el despiece radial como el tangencial, listado el primero y mallado el segundo, son de bello aspecto.

A simple vista, en la sección transversal aparecen los anillos anuales característicos de las coníferas, con la zona de verano formada por traqueidas de paredes gruesas, poca luz y calor más oscuro que las de la zona de primavera, que, por el contrario, son de paredes más finas, mucha luz y de color blanquecino.

La diferenciación práctica de esta madera, y en general las de todas las coníferas, no se puede hacer con una simple lupa, aunque sí se la incluye en determinados grupos por la presencia o ausencia de los canales resiníferos. La muestra origen de este estudio tiene canales resiníferos; por lo tanto está dentro del grupo de los pinos.

Las características microscópicas se distinguen por:

- Traqueidas longitudinales de sección transversal poligonal, con punteadoras alveoladas en una sola fila, sin o con escasos engrosamientos espirolados (que aparecen cuando se observa la preparación recién hecha y sin teñir) y con diámetros tangenciales variables entre 25 y 37 μ , siendo los valores máximos de 45 a 60 μ .
- Sin punteadoras en las paredes tangenciales de las traqueidas de otoño, presenta esporádicamente trabéculas.

- Radios leñosos uniseriados de 8 a 10 células de altura por término medio, aunque los hay de 26 con una longitud de 600μ . Los radios leñosos más pequeños están formados por dos células, y tienen una altura de 36μ ; son heterogéneos, con traqueidas dentadas, con dientes concrecentes marginales o intercalados entre el parénquima, observando, sin embargo, una tendencia a presentarse marginales.
- Tienen también radios leñosos fusiformes; se les distingue muy bien por encontrarse alojados en su interior canales horizontales.
- Las punteaduras de los campos de cruce de las células del parénquima de los radios leñosos con las traqueidas verticales son en forma de ventana; generalmente, una por campo de cruce, aunque pueden presentarse dos. Las paredes del parénquima radial son más delgadas que las de las traqueidas longitudinales.
- Los canales resiníferos verticales, en número de 0 a 3 por mm^2 , tienen diámetros verticales variables entre $120\text{-}300\mu$. Las células epiteliales son de paredes delgadas que se desgarran generalmente al dar los cortes para la preparación.

Y para terminar con esta ficha tecnológica de la madera estudiada, damos a continuación sus características físico-mecánicas completas:

Características Físicas	Resultados	Interpretación
Densidad-Humedad: Humedad del ensayo H%		
Densidad normal al 12 % H	0,522	Semipesada
Higroscopicidad	0,0029	Normal
Contracción lineal: Contr. tangencial total	6,82	Pequeña
Coefficiente de contracción tangencial	0,21	
Contracción radial total	3,85	Pequeña
Coefficiente de contracción radial	0,12	
Contracción volumétrica: Contr. Vol. total: B	12,96	Mediana
Coefficiente de contracción volumétrica: V	0,36	Poco nerviosa
Punto de saturación: S	39,00	Elevado
Dureza N: Dureza radial N	2,01	Semidura
Cota de dureza radial N/D^2	6,27	
Dureza tangencial N'	1,96	Blanda
Cota de dureza tangencial N'/D^2	7,59	

Características mecánicas	Resultados	Interpretación
Compresión axil: Carga de rotura C	423 kp/cm^2	Mediana
Cota de calidad: $C/100.D$	8,23	Mediana
Compresión radial: Carga de rotura C'	91,00 kp/cm^2	
Cota de calidad: $C'/100.D$	1,70	
Compresión tangencial: Carga de rotura C''	93,00 kp/cm^2	
Cota de calidad: $C''/100.D$	1,70	
Flexión dinámica: Trabajo unitario K	0,23 mkp/cm^2	Poco resist.
Cota dinámica: K/D^2	0,93	Mediana
Flexión estática: carga de rotura F	1113,00 kp/cm^2	Mediana
Cota de rigidez: L/f	26,00	Elástica
Cota de flexión: $F/100.D$	21,80	Fuerte
Cota de tenacidad: F/C	2,70	
Módulo de elasticidad: E	86500,00 kp/cm^2	
Tracción perpendicular a fibras: Tracción radial	22,00	
Tracción tangencial	20,00 kp/cm^2	Pequeña

Resumen de las características físico-mecánicas	Valor del ensayo		Interpretación
Densidad normal	0,522	kg/m ³	Semipesada
Higroscopicidad	0,0029		Normal
Contracción tangencial	6,82		Pequeña
Contracción radial	3,85		Pequeña
Contracción volumétrica	12,96		Mediana
Coefficiente de contracción volumétrica	0,34		Poco nerviosa
Dureza radial	2,01		Semidura
Dureza tangencial	1,96		Blanda
Compresión axil	423,00	kp/cm ²	Mediana
Compresión radial	91,00	kp/cm ²	
Compresión tangencial	93,00	kp/cm ²	
Flexión estática: carga V	1113,00	kp/cm ²	Mediana
Módulo de elasticidad	86500,00	kp/cm ²	
Flexión dinámica: trabajo unitario	0,23	mkp/cm ²	Poco resist.
Tracción perpendicular a la fibra	20,00	kp/cm ²	Pequeña

(NOTA: Valores medios de ensayos realizados con madera pino silvestre de Valsáin; Jaén; Burgos; Huesca; Cuenca y León).

1.5. Comparación tecnológica entre vigas de madera y metálicas

Al describir en el epígrafe 5 de la Parte I «Vigas de madera encolada. Modelos y comparación», en el Cuadro n.º 3 y en la Fig. 1, aprovechamos los mismos para introducir los datos de las vigas extensibles metálicas más usuales en nuestro mercado, y así obtener una visión de conjunto más amplia de la comparación tecnológica de las vigas de madera, como un conjunto, y las metálicas como otro grupo en competencia.

Del Cuadro n.º 3 se desprende que las vigas metálicas pesan bastante más, unitariamente, que las de madera a igualdad de resistencia, de modo que lo que en dicho Cuadro n.º 3 denominamos como cortante específico, que es el cociente de dividir el cortante admisible de la viga de que se trate por su peso por metro, el momento flector específico, análogo en concepto al anterior, son inferiores claramente en las vigas metálicas que en las de madera, eliminando del contraste la viga de madera Lübbert por no ser ésta totalmente apta para encofrados.

Por otra parte eliminando en el Gráfico n.º 1 la viga Jjeip, por lo modesto de sus características específicas, resulta que las vigas metálicas están situadas a la izquierda de la línea teórica que liga el Q_{adm} con el M_{adm} , según se puede comprobar, pues el coeficiente que liga ambas cifras características varía entre 1,40 y 1,64. Tomemos una media como es $a = 1,52$, o sea que

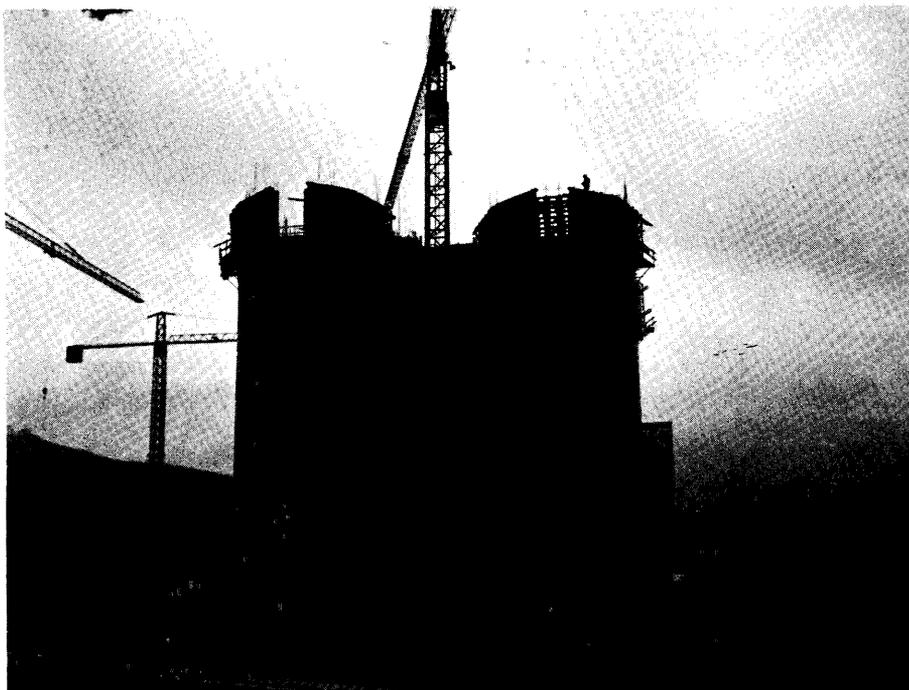
$$Q_{adm} = 1,52 \cdot M_{adm}$$

y sustituyendo en el valor límite encontrado, 3,6 m, en ese epígrafe 5 a que estamos refiriéndonos, la luz límite media para vigas metálicas para encofrados es:

$$l = 4 \cdot \frac{M_{adm}}{Q_{adm}} = \frac{4}{1,52} = 2,63 \text{ m}$$

contra 3,2 m encontrados para la media de las vigas de madera, o sea, que el proyectista y constructor de vigas metálicas para encofrado deben preocuparse más del momento flector admisible, en comparación con el cortante admisible, que en el caso del proyectista y fabricante de vigas de madera, porque la luz límite es menor y hay bastantes casos en que los anclajes de las correas, donde se apoyan las vigas es inferior a ese límite medio hallado de 2,63 m.

Como resumen de esta comparación tecnológica añadiremos que las vigas de madera dan a igualdad de peso con las metálicas más resistencia. A esta misma conclusión llega J. E. Gordon en su obra «The New Science of Strong Materials», citada por el Dr. Ing. de Montes, D. César Peraza Oramas, Subdirector Técnico de AITIM, en su Artículo publicado en el número 80 de esa Revista titulado «La Madera y sus Propiedades».



**Universidad
de Barcelona**

2. Los tableros estabilizados. Definiciones

Se llama tablero «estabilizado», vulgarmente conocido por «contrachapado», el material constituido por chapas de madera, obtenidas por desenrollo y encoladas entre sí por sus caras, de tal manera que las hojas en contacto no tengan nunca sus fibras paralelas, sino perpendiculares o con otras orientaciones, con tal que sean distintas de la paralela.

Generalmente el número de chapas es impar, así que el tablero estabilizado o contrachapado es madera mejorada, compuestos de chapas de 1 a 4 mm de espesor cada una, incluso de distintos tipos de chapas de madera, cuyas propiedades mecánicas se deducen de la madera que entra en su composición, teniendo en cuenta la orientación diferente de las fibras de las chapas y su espesor.

En efecto, en el Cuadro n.º 1 se dan los módulos de elasticidad de la madera maciza, origen de las chapas y las del tablero estabilizado, o contrachapado isótropo.

cuadro n.º 1

ESPECIE FORESTAL	MODULO DE ELASTICIDAD kp/cm ²	
	MADERA MACIZA	TABLERO ISOTROPO
Okume	80.000	40.000
Chopo	90.000	45.000
Limba	95.000	47.500
Haya	120.000	60.000
Abedul	150.000	75.000

De la lectura de este cuadro se deduce que, en la aplicación de fórmulas para el tablero isótropo, se desprecia la incidencia de las chapas transversales en los esfuerzos de tracción y compresión.

Un tablero estabilizado o contrachapado se caracteriza por la especie forestal de la madera utilizada, por la calidad de su encolado y por su composición de chapas.

En nuestro caso nos interesa el tablero para exteriores y el tablero para «encofrados», dejando a un lado el tablero para interiores, pues el tablero para exteriores está hecho para resistir la acción prolongada de la humedad.

La composición, que depende del número y espesor respectivo de las chapas, determina las características mecánicas del tablero.

Para obtener tableros con un gran número de reemplazos —forma de abaratar el encofrado— es preciso emplear cinco chapas o más, encoladas con colas fenólicas sintéticas, cuyo espesor y orientación le aseguren propiedades mecánicas sensiblemente iguales en las dos dimensiones perpendiculares.

Para el encofrado de ciertas superficies, especialmente las curvas, se emplean tableros con chapas de pequeño espesor.

Por último existen tableros cuyas caras están plastificadas, lo que determina una tersura mayor en la superficie del hormigón obtenido y un mayor número de puestas.

2.1. Tipos y espesores normales nacionales

Las dimensiones corrientes de los tableros fenólicos plastificados en nuestro país son: 2,44 × 1,22 m; 2,20 × 1,22 m y 2,00 × 1,00 m. En cuanto a espesores según sean tableros con caras sin plastificar, con una cara plastificada, o las dos, he aquí los espesores que se encuentran en nuestro mercado, indicados en el siguiente Cuadro n.º 2:

CUADRO N.º 2

TIPOS	ESPESORES EN mm														
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	18	20	22	25	30
Sin plastificar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Una cara plastificada	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dos caras plastificadas								x	x	x	x	x	x	x	x

Los tableros contrachapados se pueden curvar, indicando en el siguiente Cuadro n.º 3, los radios de curvatura prácticos que se pueden alcanzar con los tableros según su espesor y según el sentido de curvatura de las fibras, dando también en dicho cuadro los radios de curvatura máximas o de ruptura.

CUADRO N.º 3

RADIOS DE CURVATURA	SENTIDO DE LA CURVATURA	ESPEORES			
		5 mm	7 mm	10 mm	15 mm
Radio de Curvatura de Trabajo	Transversal a la fibra exterior	0,5 m	1,0 m	1,5 m	3,0 m
	Longitudinal a la fibra exterior	1,0 m	1,5 m	2,0 m	3,5 m
Radios de ruptura	Transversal a la fibra exterior	0,20 m	0,35 m	0,50 m	1,0 m
	Longitudinal a la fibra exterior	0,35 m	0,50 m	0,65 m	1,25 m

2.2. Propiedades mecánicas de los tableros contrachapados

De la Publicación AITIM, titulada «Guía práctica para el empleo del tablero contrachapado en encofrados» tomamos los datos dados en el Cuadro n.º 4 que da las presiones del hormigón sobre el encofrado.

CUADRO N.º 4

	ALTURA H DEL HORMIGON FRESCO, EN METROS (1)									
	0,10	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Hormigón plástico apisonado	80	210	415	830	1245	1660	2075	2490	2095	3320
Hormigón seco vibrado	250	675	1250	2600	2775	2950	3125	3300	2475	3650
Hormigón fluido vertido	180	450	900	1800	2700	3600	4500	3400	6300	7200

(1) La altura del hormigón fresco se mide:

1. En el caso de un encofrado de losas, por la distancia vertical entre la superficie del hormigón y el encofrado.
2. En el caso de un hormigón seco vibrado, por la distancia vertical entre la superficie del hormigón y el centro de la parte del tablero inferior en contacto con el hormigón fresco.

Para la determinación de las características de un encofrado se utilizará en primer lugar los datos del Cuadro n.º 4 y los Gráficos 1 y 2, apropiadas a la deformación admisible que se acepte, y con ella se podrá, mediante el Gráfico n.º 4, determinar el espesor del tablero a emplear en función de los datos anteriores.

Los momentos de inercia según los distintos espesores son para:

	cm ⁴
5 mm	0,0061
8 mm	0,032
10 mm	0,056
12 mm	0,072
15 mm	0,228
18 mm	0,486
20 mm	0,707

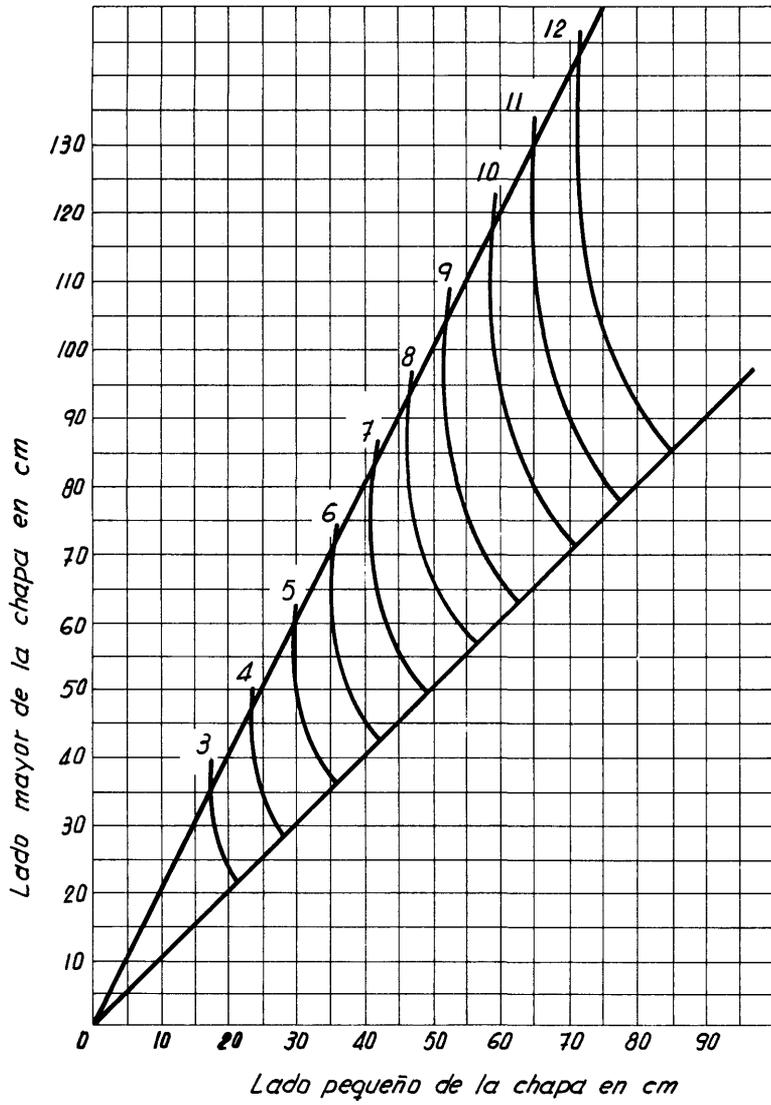


GRAFICO 1

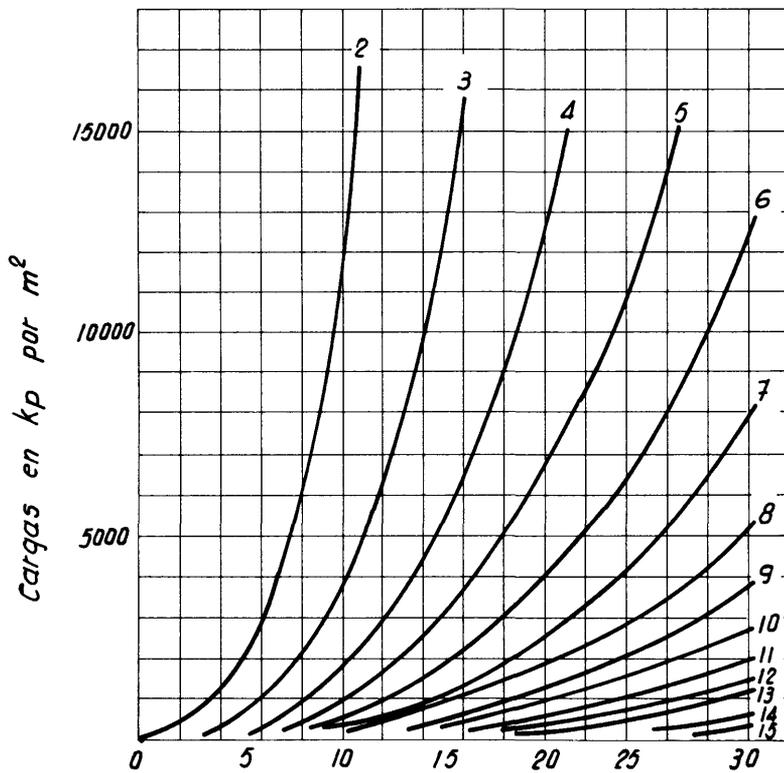


GRAFICO 2

Fig. 1

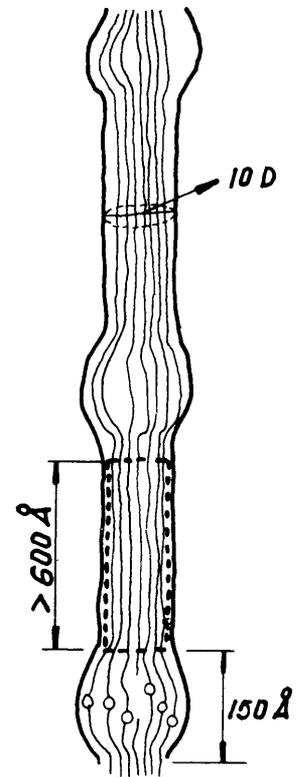
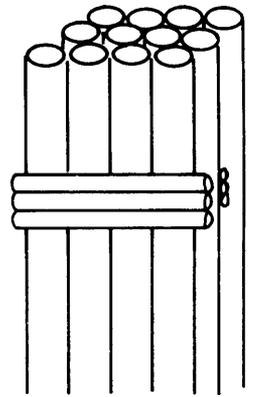


Fig. 2

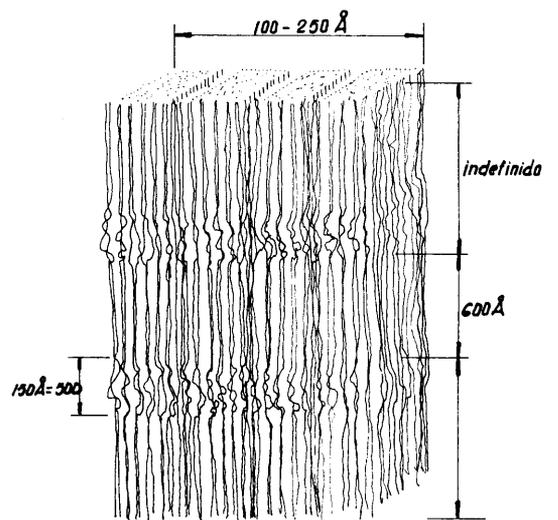


Fig. 3

2.3. Cálculo de luz entre apoyos o del espesor del tablero

Una vez determinada la presión en kp/m^2 el Gráfico n.º 3 nos permite fijar la luz entre apoyos del tablero apoyado sobre dos de sus lados solamente. Inversamente, conocida la luz y flecha admisible, se puede calcular el espesor necesario del tablero.

Las curvas 1; 2; 3; 4, y 5 del citado Gráfico n.º 3 sirven para el cálculo corriente cuando las flechas admisibles no pasan de 1/300 de la luz. En cambio las curvas 6; 7; 8; 9, y 10 se emplean cuando las flechas máximas admisibles no deben sobrepasar el límite de 1/500 de la luz, es decir, cuando se trata de obtener superficies de hormigón muy lisas y sin ondulaciones.

Flecha 1/300		Flecha 1/500	
Curva	Espesor	Curva	Espesor
1	5 mm	6	5 mm
2	8 mm	7	8 mm
3	10 mm	8	10 mm
4	15 mm	9	15 mm
5	20 mm	10	20 mm

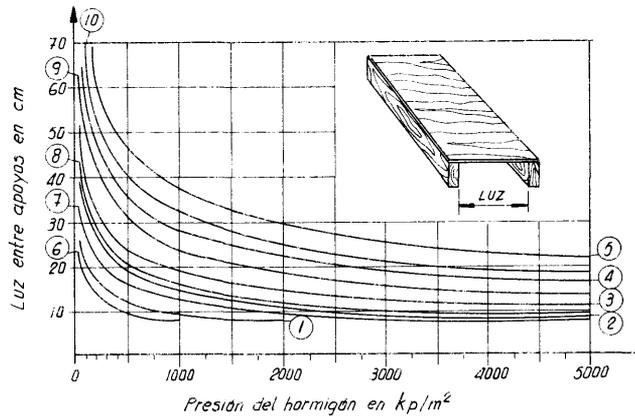


GRAFICO 3

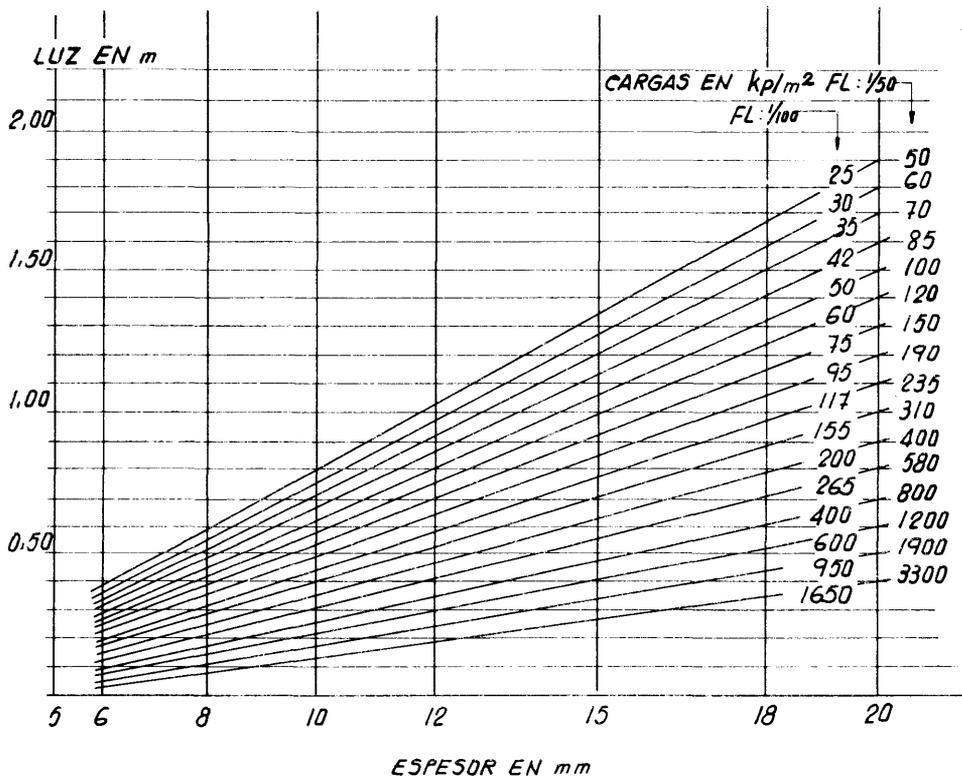
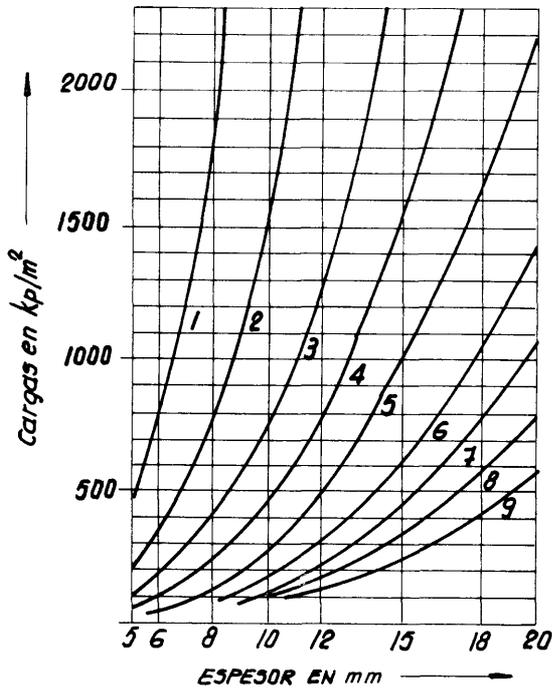


GRAFICO 4

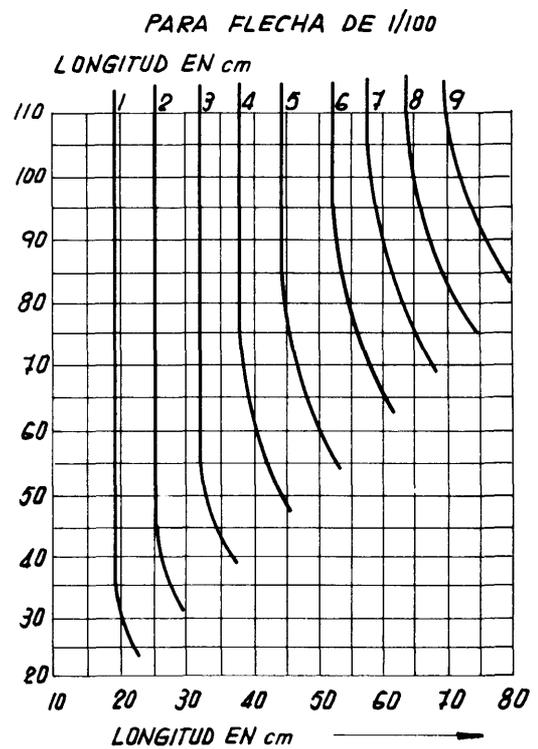
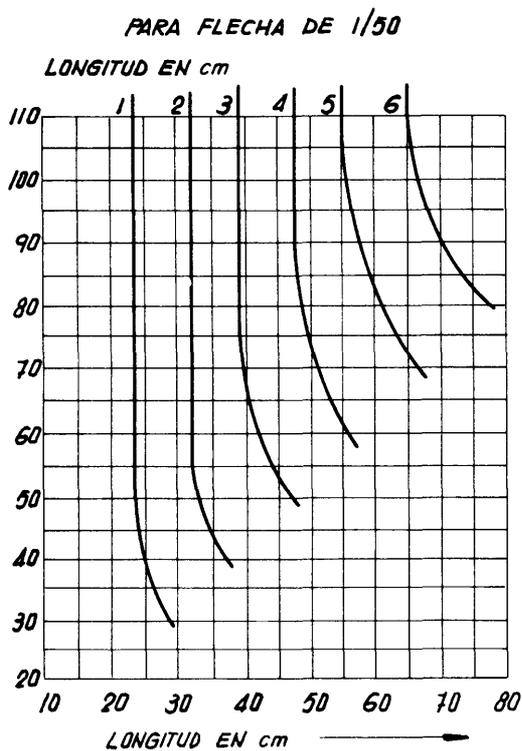
También para el caso de tableros apoyados en dos de sus lados damos el Gráfico n.º 4 que se maneja de la siguiente forma: Supongamos que queremos determinar el espesor de un tablero que ha de soportar 50 kp/m^2 sobre una longitud de $1,2 \text{ m}$ con una flecha de $1/100$:

- Lo primero que hacemos es buscar en la columna de cargas correspondientes a la flecha $1/100$ el número 50.

- Después seguimos esa curva de 50 kp/m^2 , hasta su intersección con la horizontal correspondiente a la luz de $1,2 \text{ m}$.
- En el punto de intersección bajamos una ordenada que en el eje de abscisas nos dará el espesor aproximadamente, que en este caso es de unos 17 mm .



GRAFICOS 5, 6 y 7



En el caso de que el tablero apoye sobre sus cuatro lados se emplean los Gráficos num. 5, 6 y 7, de la siguiente forma: Supongamos que queremos hallar el espesor de un tablero de $1,05 \times 0,50$ m de superficie, que ha de soportar una carga de 100 kp/m^2 , aceptándose una flecha de $1/50$.

- En primer lugar mediante el Gráfico n.º 6 elegimos la curva correspondiente a las dimensiones de apoyo del tablero, que ya hemos dicho que son $1,05 \times 0,50$ m, tomándose la n.º 4 que es la que más se aproxima al punto de intersección de ambas longitudes.
- En segundo lugar en el Gráfico n.º 5 buscamos la curva n.º 4, y al recorrerla determinamos su intersección con la horizontal correspondiente a la carga prevista de 100 kp/m^2 , y por ese punto bajamos una ordenada, que en el eje de abscisas nos dirá que el espesor adecuado es de 13 mm.

El Gráfico n.º 7 se utiliza cuando la flecha admitida es de $1/100$ de la luz.

2.4. Extracto de normas sobre tableros contrachapados

Los tableros estabilizados, vulgarmente llamados contrachapados, se designan por su largo en el sentido de la fibra de las caras y por su ancho medido en sentido perpendicular a la fibra de las caras, ambas medidas en cm, y su espesor expresado en mm. Así un tablero que mida 2,05 m, en sentido de las fibras de las caras y 1 m en sentido perpendicular, con 8 mm de espesor uniforme se designará así:

- Contrachapado de $205 \times 100 \times 8$,
siendo conveniente indicar además el número de capas que lo forma.

Las tolerancias en sus dos dimensiones de largo y ancho son $-0 + 1$ cm y los espesores, después del lijado:

- de 3 a 7 mm incluidos $\pm 0,3$ mm
- de 8 a 15 mm incluidos $\pm 0,5$ mm
- de 16 mm en adelante $\pm 0,8$ mm

Las chapas, de una especie de gran duración y de suficientes características mecánicas, estarán sanas, sin pasmos ni pudriciones. Las chapas exteriores no tendrán ningún defecto abierto (grietas, fendas, nudos saltadizos) a excepción de las galerías que se admiten si no son longitudinales.

Existen dos clases de encolado el O y el X.

En el encolado calidad O, para la unión de chapas exteriores y para las chapas entre sí, se empleará una cola calidad O y se ensayarán de la siguiente forma:

- Se prepararán una serie de seis probetas.
- Se someterán a inmersión en agua a temperatura ambiente durante 64 horas.
- A continuación se secarán durante 8 horas a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Se repetirán dos ciclos de inmersión de 16 horas y secado de 8 en iguales condiciones.
- Inmersión final de 16 horas.
- Aparte ensayos mecánicos a cortante en el plano de encolado por tracción, hasta la rotura de la probeta en estado húmedo.

El encolado de calidad X se llevará a cabo así:

- Una primera serie de 6 probetas se someterán al ensayo cíclico indicado para la calidad O.
- Una segunda serie de otras 6 probetas se someterán a una inmersión de 4 horas en agua hirviendo y después un secado durante 20 horas a 65 °C (± 3 °C), seguido de nueva inmersión de 4 horas en agua hirviendo y de un enfriamiento en agua a temperatura ambiente.
- En cuanto a ensayos mecánicos igual a los descritos para la calidad O.

También se someterán las calidades O y X a una serie de ensayos biológicos.

Se interpretarán los resultados como satisfactorios si se cumplen estas dos condiciones:

- Que no se produzcan despegues visibles en el transcurso de los diversos ensayos físicos y biológicos descritos.
- Que se obtengan en el transcurso de los ensayos mecánicos los siguientes resultados que se dan en el Cuadro n.º 5.

CUADRO N.º 5

Carga unitaria de rotura en kp/cm ²		% Mínimo de rotura en la madera (1)	
Media de seis probetas		Media de seis pruebas	Mínimo para cada prueba
≥ a	< que		
8	15	40 %	15 %
15	25	30 %	10 %
25	—	15 %	10 %

(1) Teniendo en cuenta el aspecto de las dos caras de la rotura.

(Continuará)

résumé

ETUDE SUR LES COFFRAGES EN BOIS MODERNES

Juan M. de la Peña Aznar, Dr. Ingénieur industriel

Dans cet article, l'auteur résume toute la littérature existante, ainsi que ses importantes contributions, au sujet des coffrages, chapitre important dans le bâtiment, car leur coût est souvent aussi élevé ou plus que le béton coulé lui-même.

C'est donc à l'intention des architectes, ingénieurs, charpentiers, etc., que l'auteur fournit des renseignements, accompagnés des tableaux et des abaques, concernant l'utilisation rationnelle des coffrages en bois, métalliques, etc.

summary

STUDY ON MODERN WOODEN FORMS

Juan M. de la Peña Aznar, Dr. Industrial Engineer

This article is a compendium of almost all of the existing literature, in addition to important contributions by the author, on forms — an important aspect of the building industry, as their cost is not infrequently as high or higher than that of the actual concrete poured.

Thus, to the benefit of architects, engineers, site supervisors and carpenters, data are provided, as well as charts and calculations for a rational use of these forms, whether wooden, metal or of other material.

zusammenfassung

STUDIE ÜBER MODERNE HOLZVERSCHALUNGEN

Juan M. de la Peña Aznar, Dr. Zivilingenieur

In diesem Artikel ist in gedrängter Form fast die gesamte vorliegende Literatur, sowie bedeutende Beiträge des Verfassers über Verschalungen enthalten, welche ein bedeutendes Kapitel im Bauwesen darstellen, da deren Kosten nicht selten so hoch, wenn nicht noch höher als diejenigen des Giessbetons selbst sind.

Es werden daher zum Vorteile der Architekten, Ingenieure, Bauführer und Bauschreiner Unterlagen, Tafeln und Tabellen für den rationalen Einsatz der erwähnten Verschalungen aus Holz, Metall, usw. geboten.