

Estudio sobre encofrados de madera modernos

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

836-11

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, etcétera.

PARTE I

INTRODUCCION

No es mucha la literatura que existe en español dedicada a los encofrados de madera, a pesar de que constituyen parte importante de una obra, no siendo raro que el encofrado cueste más que el hormigón vertido y moldeado en aquél. Como sea que representa una parte substancial del coste de la construcción, parece conveniente poder disponer —a ingenieros y arquitectos—, de un estudio sobre este tema que llene un poco el vacío de nuestra literatura técnica en esta rama, para el planteamiento de sus proyectos y además también para los encargados y carpinteros que realizan los encofrados, les serán útiles los datos que se dan en el estudio y permitirán realizar su labor con las debidas garantías de seguridad y economía.

La economía debe ser tenida en cuenta cuando se proyecta un encofrado. En ella influyen multitud de factores, como son los costes de los materiales gastados; el coste de la mano de obra en la construcción de paneles prefabricados, sobre los que volveremos más adelante; la mano de obra invertida en la colocación y desencofrado; los medios auxiliares empleados; el número de puestas del encofrado según su mayor o menor deterioro.

Puede obtenerse, por tanto, una buena economía empleando buenos materiales de coste inicial elevado, debido al gran número de usos que con ellos se pueden conseguir.

Con la idea de alcanzar la mayor economía posible, se deben afinar los cálculos, con el fin de conseguir el mayor ahorro posible, empleando además las tensiones más altas posibles, evidentemente de acuerdo con la calidad del material empleado, y sin sobrepasar los límites señalados para aquéllos por normas nacionales, y en su defecto por normas internacionales de reconocida solvencia y categoría.

Cuando se vierte hormigón en un molde, aquél ejercerá su máxima presión sobre los laterales de éste y sobre el fondo que soporta su peso. Al cabo de dos horas, y a veces menos, la presión del hormigón alcanza su cénit, a partir de cuyo momento comenzará a disminuir paulatinamente hasta anularse. De esto se deduce que los encofrados están sometidos a los máximos esfuerzos durante cortos períodos de tiempo, y a pesar de ello ocurren frecuentes accidentes bien lamentables y corregibles por cierto.

Pocas horas después de vertido el hormigón en el encofrado, donde previamente se ha colocado la armadura, empieza a fraguar aquél y a adherirse a ésta, alcanzando en poco tiempo resistencia suficiente como para autosoportarse, pero no por ello deben retirarse todos los componentes del encofrado, especialmente los puntales, quienes se dejan colocados varios días, y conforme disminuye la tensión (normalmente compresión) en ellos, va aumentando la resistencia del hormigón. Así pues la tensión máxima en el encofrado es temporal, y de más corta duración que el tiempo que permanecen los materiales del encofrado en obra.

La madera es un material que permite absorber grandes sobrecargas durante tiempos de corta duración. Esto es tan cierto que en USA la Asociación Nacional de Manufacturadores de Madera publicó hace bastantes años una importante tabla, en la que especificaba las tensiones admisibles para muy diversas especies de madera, tanto para tablones, como vigas; tablas y postes, recomendando que:

- Cuando el esfuerzo dure varios años..... reducción del 90 %
- Cuando el esfuerzo dure dos meses aumento del 15 %
- Cuando el esfuerzo dure siete días aumento del 33 %
- Cuando el esfuerzo sea por impacto aumento del 100 %

En cambio el Módulo de Elasticidad permanece invariable.

1.—Propósito de este estudio

Hemos comenzado la «Parte I.—Introducción», afirmando que no hay mucha literatura en español sobre encofrados, aunque hay valiosas traducciones, pero de obras extranjeras obsoletas, y de la norma DIN 1052, que es con lo que ha contado hasta ahora el técnico intelectual y manual, para ayudarse en sus problemas de encofrados.

Sin embargo, aunque no trate específicamente del tema de encofrados que nos ocupa, hemos de resaltar el libro titulado «Cálculo de Estructuras de Madera» cuyo autor es el Profesor de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, don Ramón Argüelles Alvarez, doctor Ingeniero de Montes, que nos ha servido de valiosa ayuda para nuestro propósito.

También nos han ayudado las publicaciones de la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, más conocida por AITIM y sus ingenieros señores González Alvarez; Guindeo y Peraza.

Un primer objetivo de este estudio, es llenar un hueco de informaciones técnicas para el cálculo de Encofrados Modernos de Madera, y el segundo dar a conocer a los técnicos de la Industria de la Construcción, tanto Superiores como Medios y de obra, la evolución operada en los encofrados de madera que hoy no se parecen en nada a los antiguos y tradicionales encofrados de madera, que usaban como elementos constitutivos básicos el clásico y famoso «tablón», o el «tabloncillo»; la «tabla», machihembrada o no; «riostras», etc., y el no menos famoso «puntal», incluso, dudosamente empalmado, que tantos sustos y disgustos ha proporcionado, acodado contra el encofrado por medio de las clásicas «cuñas», que servían para regular su altura y para el desencofrado, bastante brutal por cierto.

La necesidad aguza el ingenio y de ahí que hoy existan «Modernos Encofrados de Madera», título de este estudio, que han surgido tanto por la senda de recuperar el mercado perdido por los encofrados de madera, por la aparición y agresiva competencia de los encofrados metálicos, que en la década de los años 50 eran efectivamente competitivos, como por los avances de la tecnología en las construcciones de madera, y en las colas para su unión segura e inalterable a los agentes atmosféricos.

2.—Breve Historia de los encofrados de madera

Se puede decir que hasta terminada la última Guerra Mundial, los encofrados que se usaban —casi exclusivamente—, estaban hechos con madera de muy diversas clases, calidades y escuadrías.

Todos los estamentos profesionales que tenían algo que ver con los encofrados para moldear hormigón, casi totalmente in situ; no tenían el menor acicate para evolucionar la ancestral técnica empleada, desde que apareció el hormigón como material para construcción.

Pero las necesidades aguzan el ingenio, provocando en el hombre la búsqueda de sustitutos; productos nuevos; nuevas técnicas; más precisión en los métodos de cálculo; nuevos sistemas constructivos, etc.

Así por ejemplo durante la citada Guerra Mundial, entre los años 1939 y 1945, en Alemania, cada vez más acuciada por sus enemigos, se fueron agotando sus reservas de materias primas inexorablemente, dado además su mayor consumo que en época normal por el esfuerzo de guerra que tenía que hacer, y de ahí que el Profesor Karl Egner desarrolló una técnica de empalme longitudinal de madera para la construcción de puentes.

Diez años después se efectuaron ensayos sobre las piezas unidas —que ahora vamos a explicar cómo se empalmaban—, que sirvieron en la construcción de esos puentes, obteniéndose resultados excelentes, puesto que las piezas unidas ofrecieron tensiones de rotura a tracción de 246 kp/cm^2 y 309 kp/cm^2 a flexión. En tales ensayos a posteriori las roturas se presentaron en los nudos o zonas donde se habían colocado clavos.

Esta técnica de unión de piezas de madera, también se utilizó en USA durante la Guerra Mundial, especialmente para la fabricación de hélices para aviones.

Posteriormente esta técnica se fue extendiendo por otros países, y concretamente en Alemania el Instituto Otto Graf redactó en 1960 la norma DIN 68-140, que dio el espaldarazo al procedimiento, lo que trajo consigo que ese sistema de empalme longitudinal de piezas de madera fuera adoptado por muchos más países de los iniciales, como Suecia, que publicó su norma SIS 054-401; Inglaterra; Noruega; Finlandia; Australia; Nueva Zelanda; Canadá; Africa del Sur; yendo un poco retrasada en la iniciación de su aplicación Francia, parte por falta de información y parte por falta de normativa oficial precisa.

El empalmado por entalladuras múltiples es una unión longitudinal de piezas de madera, realizado por el encolado de éstas y en cuyos extremos se han practicado unas entalladuras en forma de cuña de sección trapezoidal. Las figs. 1, 2 y 3, son suficientemente elucidativas como para evitar cualquier descripción.

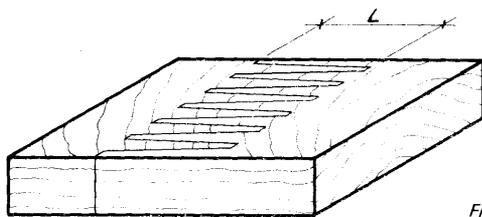


Fig. 1. — Entalladuras múltiples normales.
L = 15 ÷ 60 mm

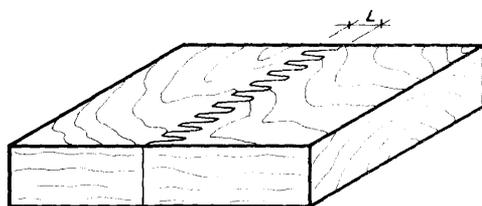


Fig. 2. — Entalladuras cortas o minientalladuras.
L = 7 ÷ 10 mm

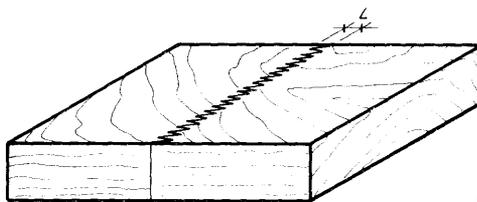


Fig. 3. — Microentalladuras.
L ≤ 5 mm

Pero salvo este avance de la técnica de las obras de carpintería acabado de describir, poco o nada más se hizo, salvando las mejoras introducidas en los tableros contrachapados. Por otra parte ciertas empresas auxiliares de la construcción, alentadas además por la industria siderúrgica que buscaba nuevos mercados para sus productos laminados, iniciaron en la década de los años 50 el empleo del acero en muy variados perfiles para construir encofrados, y como por entonces comenzó la técnica del hormigón pretensado, empezando por las vigas para forjados, se notaba la falta de un encofrado de madera resistente y sobre todo duradero.

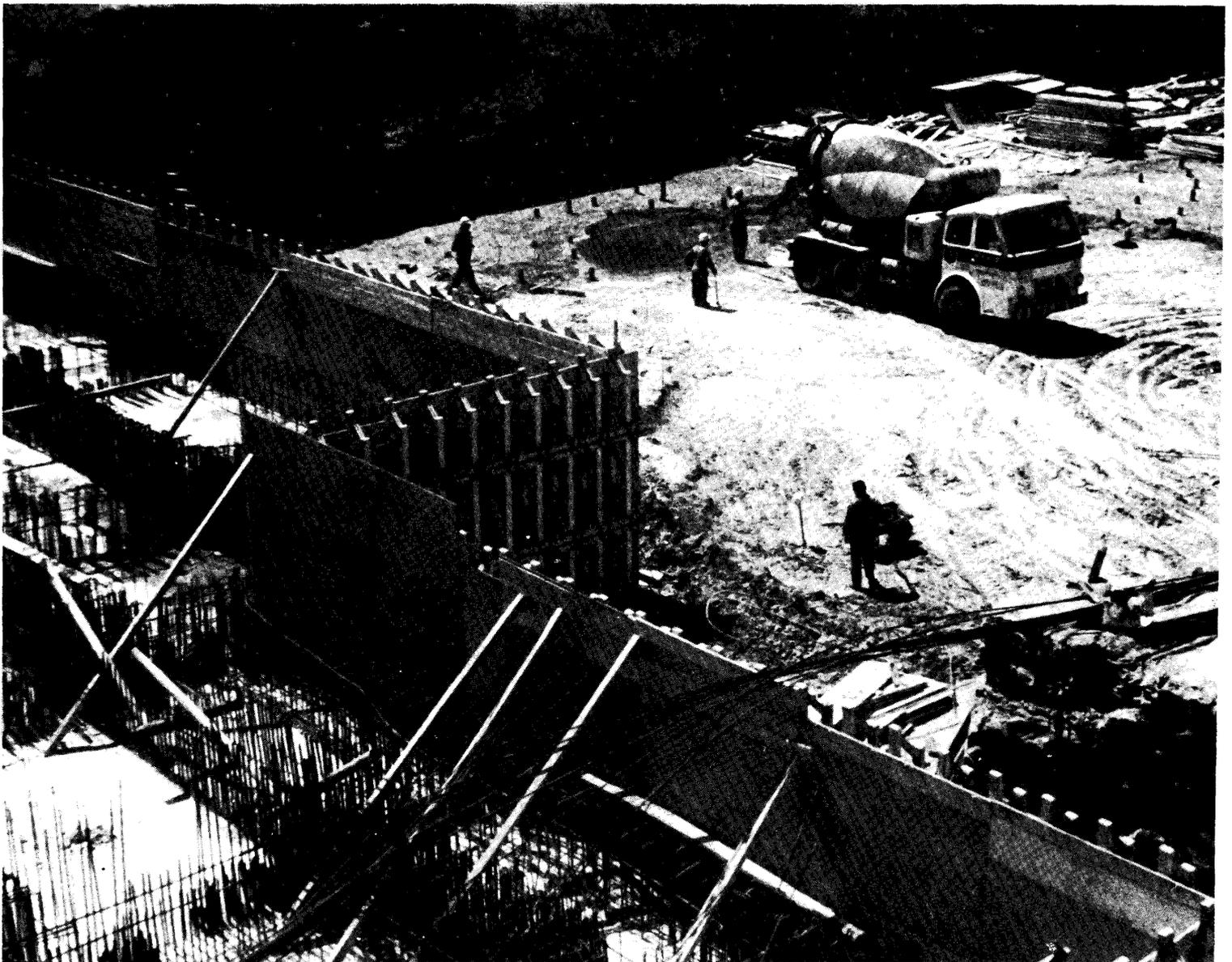
Así poco a poco se introdujo en la industria de la Construcción el empleo de los encofrados metálicos que, naturalmente, en muchas aplicaciones, obras, o usos concretos, desplazaron a los encofrados de madera, pues hay que reconocer que para ciertos casos son los más aptos.

Como siempre pasa con las novedades tecnológicas, ésta de los encofrados metálicos, «se puso de moda», a tal punto que los estamentos profesionales de la madera vieron descender sus pedidos, pues el metal no sólo invadía su tradicional campo de los encofrados sino otros más tradicionales aún, como son los cercos de puertas y ventanas; la carpintería de viviendas; los muebles, sobre todo los de oficinas; etc.

Sólo viendo el negro panorama que se avecinaba, los fabricantes de encofrados de madera y en general fabricantes de carpintería de madera, reaccionaron inteligentemente mejorando sus fabricados, y así pudieron, como lo han conseguido, recuperar su mercado, pues hay que reconocer que el encofrado de madera es muchas veces bastante más apto —e incluso insustituible—, que el metálico.

Uno de los pioneros en esa modernización que precisaba la técnica de los encofrados de madera fue el Ingeniero Diplomado alemán Manfred Steidle-Sailer, de Sigmaringen, propietario de una Empresa Constructora y de un magnífico Taller de Carpintería, en el cual, en 1956, produjo la primera viga de madera encolada en celosía, que empleó inmediatamente en su citada Empresa Constructora, fundada por la familia Steidle en 1821.

Naturalmente que el citado Ingeniero hizo muchas pruebas con diversas soluciones con el fin de encontrar la mejor. Por ejemplo construyó vigas de alma llena y de celosía con diversos tipos de ésta, poniéndolas a prueba del personal de su Empresa Constructora. Pero en todas ellas el señor Steidle-Sailer empleaba para los nudos la técnica acabada de describir de la unión por entalladuras, resuelta entonces en empalmes longitudinales pero no en empalmes de ángulo o nudos de una celosía, donde concurren hasta 4 barras en vigas de celosía isostáticas, con ausencia total de elementos metálicos y aprovechando el principio del mecanismo de la cuña que es irreversible, o sea que se autorretiene cuando el ángulo de la cuña α , es menor que el doble del ángulo de rozamiento 2ϕ que se produce entre las caras de la cuña, y las paredes del material en el que la cuña está hendida.



Nuevo Hospital Gómez Ulla (Madrid). Servicio Militar de Construcciones.

En tal caso para sacar la cuña hay que aplicar un esfuerzo a ella igual y contrario al que se utilizó al hendirla en el cuerpo de que se trate. Si a este principio se añade la aplicación de modernas colas sintéticas, inalterables al agua y agentes atmosféricos, se comprenderá el grado de seguridad que se ha alcanzado en las vigas de madera encolada en celosía, en las que las roturas en los ensayos de calidad se producen en las barras y no en los nudos, que lógicamente es el punto débil de toda construcción hecha con elementos diferentes, no de una pieza.

Tras largas pruebas y cálculos del Ingeniero Diplomado Manfred Steidle-Sailer, eligió una viga en celosía tipo Warren, con diagonales dobles, ligera y resistente a la torsión, con canto de 36 cm y ancho de 10 cm.

Por fin en el año 1959 se emplearon masivamente por primera vez vigas de madera encolada en celosía, tipo Steidle, con ausencia total de elementos metálicos de unión, en el encofrado de un muro con sólo dos líneas de anclajes, una superior y otra inferior, lo que constituía una verdadera novedad en la construcción de encofrados de muro.

Pero fue realmente en 1961 cuando el inventor del nudo hecho por medio de la técnica de las entalladuras, ya puesta en práctica en Alemania y USA en uniones longitudinales, durante la II Guerra Mundial, como hemos dicho antes, pudo presentar otra novedad consistente en emplear como superficie encofrante tableros contrachapados unidos con colas fenólicas, inalterables a la humedad, y con la posibilidad de plastificar una o ambas caras, para aumentar notablemente el número de empleo de aquéllos, con un modesto aumento del precio de adquisición del tablero.

Así el señor Steidle pudo construir y presentar, primeramente en el mercado alemán, y luego en el resto de Europa Central, grandes paneles rígidos de superficies hasta entonces desconocidas, de hasta unos 20 m², que podían ser elevados, transportados y cambiados de posición, con las grúas normales tipo torre que posee todo constructor, que tienen una fuerza limitada en punta (unos 600 kp a 30 m), debido a la ligereza de su viga que sólo pesa unos 6,8 kp/m, con un momento flector admisible $M_{adm} = 1.500 \text{ mkp}$, y un cortante admisible de 1.900 kp y vida útil muy superior a los 5 años, con lo que su costo por puesta, uso, o empleo, es económicamente competitivo.

3.—Encofrados metálicos

Los encofrados metálicos tuvieron su espectacular auge una vez terminada la II Guerra Mundial, que les ha durado más de 20 años, pues a las vigas de madera encolada les costó muchos esfuerzos y tiempo penetrar en el mercado, y sobre todo que éste tomara confianza con ese nuevo medio de encofrar, y acostumbrarse a obtener de él todas sus ventajas posibles, comenzando por la forma de encofrar mediante paneles prefabricados de hasta 20 m².

No por eso los encofrados metálicos han desaparecido, ni desaparecerán evidentemente. Lo que ha ocurrido es que la madera, en forma de vigas encoladas y tableros fenólicos, ha recuperado el mercado que por sus indudables ventajas le correspondía, y que por abandono de los diferentes estamentos profesionales que la trabajaba, dejaron el campo libre a las indudables innovaciones que aportó el encofrado metálico, sin reaccionar a tiempo, o lo que es peor reaccionando tardíamente.

El encofrado metálico tiene que quedar y quedará circunscrito a empleos para los que sea más ventajoso que los «Modernos sistemas de encofrado de madera», como por ejemplo, los encofrados de vigas pretensadas; los encofrados de túnel en ciertos casos; los encofrados deslizantes (no confundirse con trepantes, que son distintos); los encofrados de pilares; los encofrados de canales y en general de obras lineales de gran longitud; cuando se necesite dar una tersura fina a la cara de hormigón visto; etc.

Pero la gran mayoría de los encofrados de las variadísimas obras de hormigón que se realizan, no cabe la menor duda que los «modernos encofrados de madera» son los indicados porque sus ventajas respecto a los encofrados metálicos son:

- Más económicos de inversión, aunque pueden resultar más costosos que los metálicos si el número de utilización es pequeño.
- Ante el trato brutal que recibe el material de construcción por parte de la mano de obra, sufren torceduras, deformaciones o abollamientos costosos de reparar. La madera resiste mucho más los golpes.

- La mano de obra que se necesita para instalar encofrados metálicos está mal definida en cuanto a su especialidad, pues en parte tienen que ser carpinteros y en parte montadores de estructuras metálicas.
- Los encofrados metálicos de muro requieren una enorme variedad de picerío pequeño, que acaba perdiéndose en la obra y cuya instalación consume mucha mano de obra.
- No protegen el fraguado del hormigón en tiempo frío.
- Hay que entretenerlos con gastos adicionales elevados para protegerlos de la oxidación.

La mejor prueba de lo anterior es que cuando acabó la II Guerra Mundial, el uso del encofrado metálico era impresionante en Europa Central, y hoy día en Alemania; Suiza, y Austria (donde hay fábricas de vigas de madera) participa el encofrado de madera moderno en un 70 a 80 % del mercado.

4.—Modernos encofrados de madera. Su mercado

En epígrafes anteriores ya hemos definido lo que titulamos como «Modernos encofrados de madera». Están constituidos por vigas de madera encolada en celosía tipo Warren, o de alma llena, o tipo Vierendel, a las que están clavados, o mejor atornillados, tableros contrachapados fenólicos plastificados por sus caras o no.

La fig. n.º 4 es suficiente expresiva para ahorrar cualquier explicación ulterior, sobre el mercado europeo de las vigas de madera para encofrados modernos, y en la n.º 5 se plasma su mejora de fabricación.

Realmente lo más interesante de este epígrafe es estudiar el mercado de tales «encofrados modernos», para que el lector, lógicamente técnico, sepa por donde dirigen sus pasos sus colegas, que sus razones tendrán para elegir el camino que siguen hoy día, y hacer una estimación del consumo futuro de tales «encofrados modernos» y de sus elementos constitutivos.

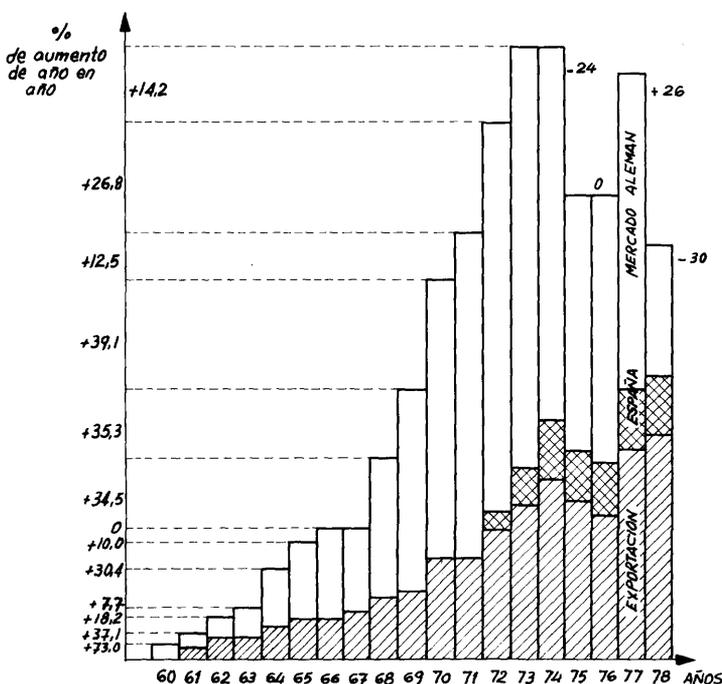


Fig. 4

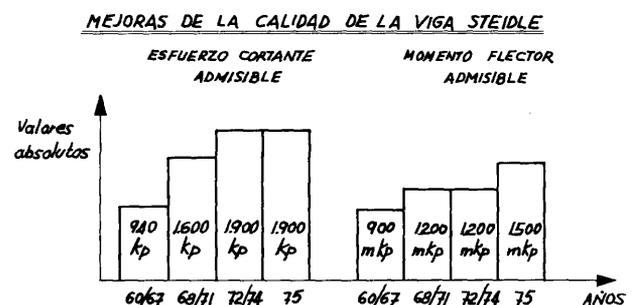


Fig. 5

En Alemania, país pionero en el empleo de las vigas de madera encolada en celosía, origen de la moderna concepción del encofrado de madera, se ha hecho un estudio de mercado por J. Schmidt - Morsbach y el resultado se expone en el siguiente cuadro n.º 1.

CUADRO N.º 1

Clase de encofrado o elementos	Muros de sótanos (%)	Muros de plantas (%)	Cajas de ascensor (%)	Forjados (%)	Jácenas en infraestructura (%)
Vigas de madera encolada en celosía	40,5	38,3	31,0	20,3	21,5
Vigas de madera encolada de alma llena	7,0	2,0	3,5	4,4	1,5
Encofrado metálico mixto	17,9	30,4	26,6	37,7	4,3
Encofrado metálico puro	8,2	12,6	14,4	12,0	6,0
Tablones usuales	25,2	10,1	23,0	22,5	58,8
Encofrado de forjado		3,3		1,2	
Otros tipos	1,2	3,3	1,5	1,9	7,9
TOTALES	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Obsérvese que en el Cuadro n.º 1 hemos clasificado como un tipo más de encofrado a tener en cuenta, el mixto, de madera y metal compuesto por tableros de una pieza o tablas unidas, machihembradas o no, recercado por cerco metálico de muy variado perfil, que constituye la respuesta de los fabricantes de encofrados metálicos puros (todo metal), a la irrupción en el mercado de las vigas de madera encolada con tableros contrachapado fenólicos, pues además el encofrado metálico puro ya hemos dicho que deja la superficie de hormigón muy tersa, y la moda arquitectónica actual es que tal superficie quede suavemente rugosa, tanto por estética como porque en ella agarra mejor cualquier tipo de revestimiento o pintura.

El señor J. Schmidt - Morsbach no solamente ha estudiado la distribución del mercado alemán actual por clases de encofrados, sino que además ha vaticinado su tendencia futura en cuanto a los elementos de que se componen los «modernos encofrados de madera». He aquí sus vaticinios plasmados en el Cuadro n.º 2.

CUADRO N.º 2

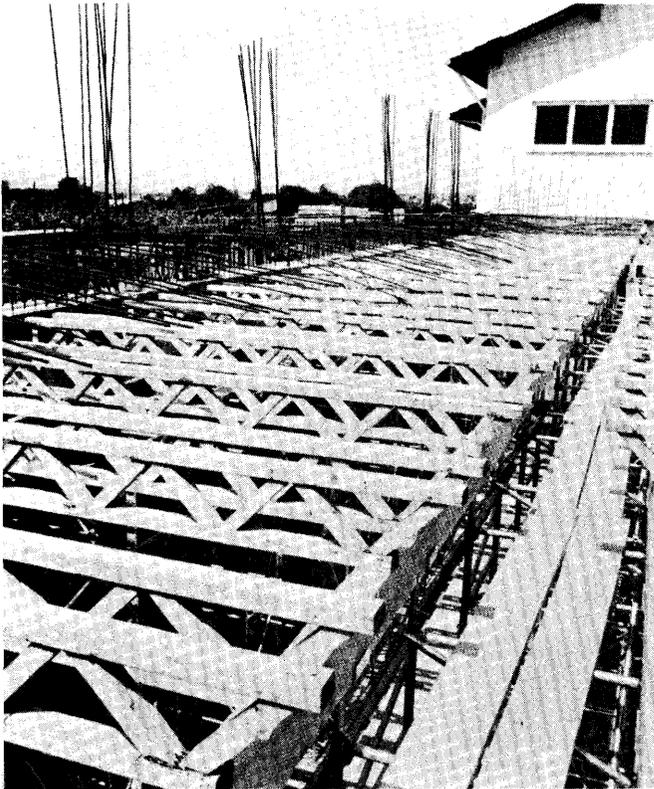
PRONOSTICO DE CONSUMO EN ALEMANIA

TIPO DE MATERIAL	Aumento (%)	Disminución (%)
Vigas de madera encolada	90	10
Vigas metálicas en general	5	15
Encofrado de forjado sin entablar	100	—
Encofrado de forjado entablado	45	—
Encofrado convencional antiguo	—	100

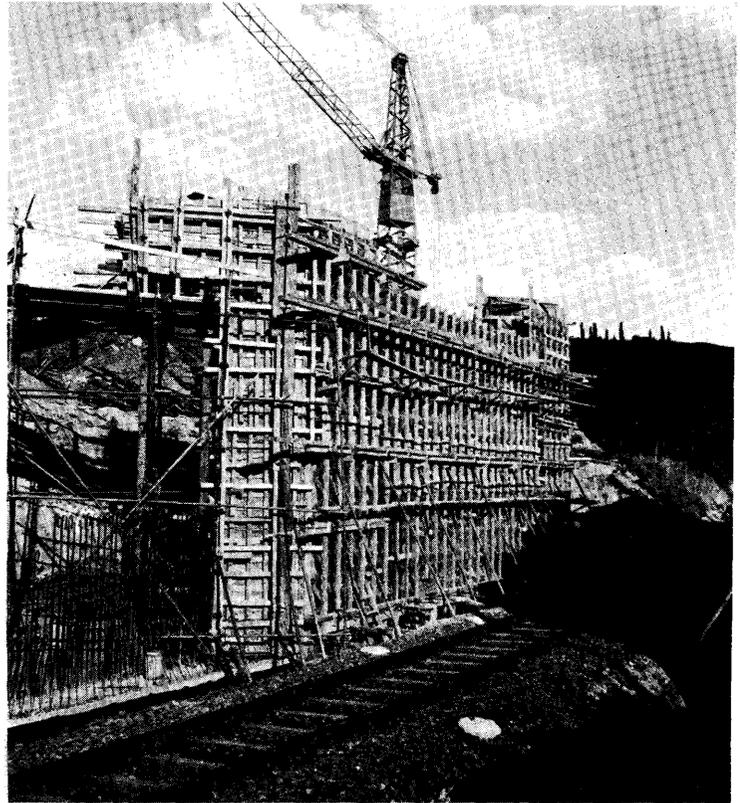
Resumiendo: El futuro del encofrado totalmente metálico es negativo; en cambio el encofrado mixto tiene mejor porvenir.

5.—Vigas de madera encolada. Modelos y comparación

Conforme la viga Steidle fue penetrando en el mercado alemán y en el exterior circundante, fueron apareciendo competencias, como es natural, pero, como veremos, ninguna alcanza las cotas de características mecánicas que ha logrado dicha primera viga, que recordaremos inició su vida comercial en Alemania Federal en 1959, apareciendo en 1968 la viga marca PERI, con 10 años de retraso,



Encofrado de forjado. MARBELLA.



Encofrado de muro para puente sobre ferrocarril.

la cual es también una viga en celosía tipo Warren de madera encolada, pero son los extremos rectos, es decir, con el cordón superior e inferior de igual longitud, contra la típica forma de la viga STEIDLE en que un extremo termina en voladizo, y además sus diagonales son macizas.

Esas características constructivas de la viga STEIDLE, que no las tienen ninguna otra de las que conocemos, es ventajosa por:

- Economía de peso y lógicamente de precio.
- Posibilidad de desencofrar un muro antes que el encofrado del forjado construido a la vez que aquél, y además ese extremo inclinado tiene ventajas constructivas en encofrados inclinados de cúpulas o bóvedas. (Véase fig. n.º 6.).
- Tal voladizo permite aumentar la reacción en el apoyo más cercano al mismo. Así en la figura n.º 7 aun cuando $Q_{adm} = 1.900$ kp para la moderna viga STEIDLE ST 73, y por lo tanto la reacción B no puede pasar de ese valor, en cambio la reacción en A puede llegar a 2.800 kp, sin que Q_{adm} en A sobrepase los 1.900 kp autorizados.
- El que las diagonales sean dobles da lugar a dos ventajas apreciables: la 1.ª que la viga en sección es de forma de «cajón», hoy sistema tan extendido en las construcciones metálicas, por ejemplo, lo que da a las vigas STEIDLE una evidente resistencia a torsión. En efecto aplicando a estas vigas la fórmula aproximada que da S. Timoshenko en su «Resistencia de materiales», Tomo I, pág. 263 resulta $\tau_{max} = 18 \cdot M_t$ siendo M_t el momento torsor a resistir, mientras que aplicando la fórmula dada por ese mismo autor en el Tomo II de su «Resistencia de materiales», página 280, a una viga de sección I, como son las demás que estudiaremos, se obtiene $\tau_{max} = 18 \cdot M_t$.

En segundo lugar, la ventaja de las diagonales de la viga STEIDLE consiste en estar formadas por dos escuadrías de 3 x 6 cm y, como se sabe, la madera tiende más al alabeo, torcedura, etcétera, cuanto mayor sección tiene. Por eso las vigas STEIDLE son altamente resistentes a torsión y en su plano.

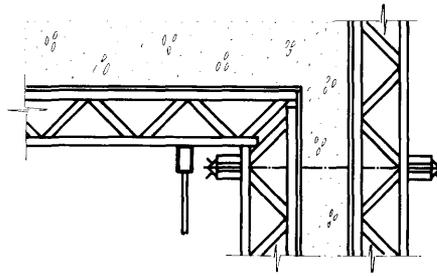


Fig. 6

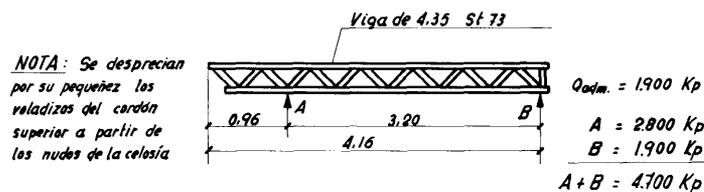


Fig. 7

- Las vigas en celosía son superiores a las de alma llena, por lo que a determinación de tensiones se refiere. En las primeras como son isostáticas se sabe que los cordones superior e inferior están sometidos a compresión o tracción, según trabaje la viga y las diagonales también a tracción o compresión, dependiendo el esfuerzo cortante del coseno del ángulo que forman con los cordones. En cambio en las vigas de alma llena, se sabe que el cortante lo tiene que resistir sólo prácticamente el alma en sentido vertical. (Véase fig. 8. a.)

Pero por un principio elemental de equilibrio de los elementos prismáticos del alma, las tensiones cortantes verticales originan unas tensiones rasantes horizontales, iguales a aquéllas y perpendiculares a las mismas, a cuya misma conclusión se llega si se supone la viga de canto $2h$ de la fig. 9 formada por dos vigas de igual longitud primitiva 1, unidas por algún medio por su eje neutro. En éste se desarrollarán esas tensiones rasantes máximas deducidas antes, que se oponen al deslizamiento de la viga superior sobre la inferior.

Como por la fig. n.º 8. a se ve que el esfuerzo cortante en el alma llena de una viga I, como es la de la marca DOKA, por ejemplo, en su unión con las alas o cordones, varía muy poco con la tensión cortante máxima en el centro del alma, resulta que la tensión rasante en ese delicado punto de este tipo de viga, las tensiones rasantes tienden a provocar la ruina de la viga, de no estar perfectamente hecha tal unión, de la que más adelante nos ocuparemos.

Reparto de tensiones cortantes y rasantes en vigas de alma llena

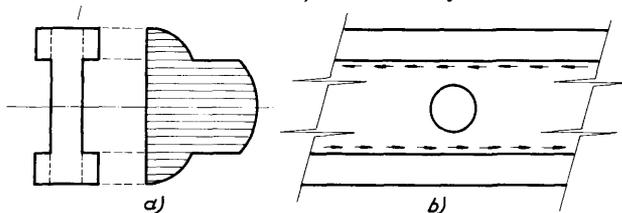


Fig. 8

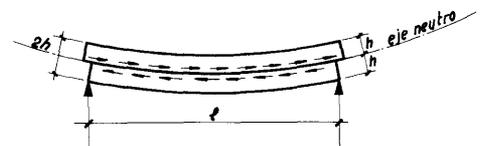


Fig. 9

- Las vigas en celosía también son superiores a las de alma llena por varias razones más. En primer lugar son más ligeras. En segundo lugar a las de alma llena se les practican en ésta unos grandes taladros cada cierto espacio para poder introducir por ellos riostras, cables y hondillas de grúa para su manejo mecanizado, y en esos taladros existe una concentración de esfuerzos cortantes y rasantes peligrosa. En tercer lugar el alma no conviene que sea de un tablero de una pieza, sino formada por tres tableros, con sus fibras orientadas perpendicularmente para estabilizarlos y evitar posibles alabeos. Pero encolar tanta superficie de tablero es costoso, y en los frentes de la viga siempre existe el peligro de que por las uniones penetre la humedad y desarme el alma en sus tres componentes, con los consiguientes efectos desastrosos que ello supone, empezando por el acortamiento de la vida útil de la viga.
- Respecto de las vigas tipo Vierendel, fabricadas por ACROW-WOLFF, es evidente su inferioridad técnica respecto de las vigas de celosía, porque se trata de una viga incompleta a la que le faltan las diagonales, y cuya resistencia se confía al dudoso empotramiento entre cordones a través de anchos montantes. Estas vigas son difíciles de calcular meticulosamente y producen mayores flechas que las de celosía de análogas dimensiones y características mecánicas.
- En el orden práctico, tan importante en las obras, las vigas de celosía y las Vierendel permiten colocar las correas de atado transversales, para formar paneles de encofrado, a través de los huecos triangulares que dejan las diagonales de las primeras, y de los huecos rectangulares que forman los montantes y cordones de las segundas. Esta disposición economiza algo en anclajes, ahorra espacio ocupado y desde luego no cabe emplearse con vigas de alma llena.
- Otra consecuencia práctica muy útil en obra, es que las vigas de celosía permiten sujetar en sus huecos los andamios de personal indispensables para el servicio de los operarios que hormigonan.

CUADRO N.º 3

VIGAS DE MADERA												
FABRICANTE Y NACIONALIDAD	MARCA NACIONAL	MODELO	DESCRIPCION	PESO UNITARIO p kp/m.	CANTO h cm	MOMENTO DE INERCIA I cm ⁴	ESCUADRIAS		CARACTERISTICAS MECANICAS		CARACTERISTICAS ESPECIFICAS	
							CORDONES cm.	DIAGONALES cm.	M _{adm} mkp	Q _{adm} kp	M _{eadm} mkp/p	Q _{ecoc} kp/p
SAVIEIX, S.A. ESPAÑA	STEIDLE-TREGAR	ST-73	Viga en celosía doble tipo Warren.	6,8	36	26539	5,9 x 9,3	2 / 3 x 6	1500	1900	220	279
ARTUR SCHWÖRER WERK KE ALEMANIA	PERI (Española)	I 70 V	Viga en celosía con diagonales macizas tipo Warren.	7,8	36	27500	7 x 10	6 x 6	1600	1630	205	211
ÖSTERREICHISCHE WOKA AUSTRIA	DOKA (Mundus)	H 36	Viga de alma llena sin rigidizadores.	9,0	36	29942	5,4 x 10	(Alma) 3,1	1700	1600	189	178
ACROW-WOLFF ALEMANIA		AW-36	Viga de cordones dobles tipo Vierendeel.	8,0	36	24500	2/3,5x9,3	(Montantes) 1,3	1350	1700	169	212
BUCHSBAUM ALEMANIA		35 6/12 2 x 3/6	Viga en celosía doble o diagonales macizas tipo Warren.	11,0	35	30000	6 x 12	2/3 x 6	1300	1125	112	102
VIGAS METALICAS												
HÜNNEBECK ALEMANIA	HÜNNEBECK (MECANOTUBO)	AZ 27	Viga metálica estampada tipo Vierendeel.	15,5	27				2100	3500	135	226
TALLERES ULMA S.C.I. ESPAÑA	JJEIP	TIPO LIGERO	Viga parte estampada y parte de Ø en celosía.	7,5	20				825	1200	110	167
TALLERES ULMA S.C.I. ESPAÑA	JJEIP	TIPO NORMAL	Viga parte estampada y parte de redondo en celosía.	9,9	29				1200	1500	121	151
ACROW-WOLFF ALEMANIA		COMBI-FORM	Viga metálica en celosía.	30,0					3250	6350	157	217
VALORES MAXIMOS ENCONTRADOS PARA LAS CARACTERISTICAS ESPECIFICAS: VIGAS STEIDLE - TREGAR											220	279

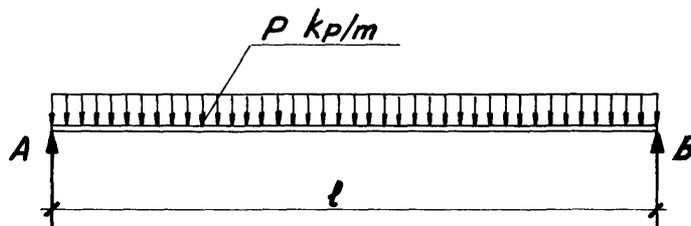
Tras esta exhaustiva exposición de ventajas e inconvenientes de las diferentes vigas de madera encolada que conocemos, resumimos en el Cuadro n.º 3 sus características mecánicas y funcionales, incluyendo también, para mejor información del lector las vigas metálicas de encofrado conocidas en el mercado español, y más de uno se llevará una gran sorpresa al ver la superioridad de las de madera sobre las metálicas.

Para que la comparación sea homogénea y científica, hemos ideado relacionar el M_{adm} y el Q_{adm} de cada viga con su peso por metro lineal, p , deduciendo así lo que denominamos «Momento específico admisible», y «Cortante específico admisible», y ellos nos medirán por sus valores el grado de perfección técnica de cada tipo y modelo de viga.

Para completar la comparación entre las diversas vigas de madera encolada e incluso metálicas, para encofrar muros; forjados; etc. de hormigón, hemos construido el Gráfico n.º 1 enormemente expresivo pues su sola vista da una idea perfecta del conjunto, y separadamente de la posición tecnológica de cada viga.

De dicho Gráfico n.º 1 pueden sacarse consecuencias útiles a la hora de calificar y definir el grado de aprovechamiento del material invertido en una viga.

Pero antes es necesario que precisemos el límite para el cual la tensión de cálculo predominante es el cortante, y cuál para el momento flector. Sea la viga de la fig. 10, de luz l entre apoyos A y B, cargada uniformemente con una carga p kp/m.



Se sabe que:

$$M_{adm} = \frac{P_{adm} \cdot l^2}{8} \text{ de donde } P_{adm} = \frac{M_{adm} \cdot 8}{l^2}$$

$$Q_{adm} = A = B = \frac{P_{adm} \cdot l}{2} \text{ de donde } P_{adm} = \frac{Q_{adm} \cdot 2}{l}$$

luego

$$\frac{M_{adm} \cdot 8}{l^2} = \frac{Q_{adm} \cdot 2}{l}$$

luego el valor límite buscado es $l = 4 \cdot \frac{M_{adm}}{Q_{adm}}$; ahora bien, del Gráfico n.º 1 se desprende

que existe un valor medio para la relación $M_{adm} : R_{adm}$ que viene dado por la fórmula de la recta en la que se hallan los centros de gravedad de los puntos determinados para cada viga, que es, para las vigas de madera que son las que nos interesan

$$y = 1,10 \cdot x, \quad \text{o bien, } \frac{Q_{adm}}{p} = a \frac{M_{adm}}{p}$$

luego

$$Q_{adm} = 1,10 \cdot M_{adm}, \text{ o sea, } \frac{M_{adm}}{Q_{adm}} = 0,9$$

y sustituyendo en la luz límite encontrada antes, se obtiene su valor medio, que es del orden de

$$l_{min} = 4 \times 0,9 = 3,6 \text{ m.}$$

En efecto: supongamos una luz de cálculo entre apoyos A y B, de la fig. 10., $l' < l$.

Entonces

$$\left. \begin{aligned} M' &= \frac{P \cdot l'^2}{8} < \frac{P \cdot l_{lim}^2}{8} \\ Q' &= \frac{P \cdot l'}{2} < \frac{P \cdot l_{lim}}{2} \end{aligned} \right\} \text{ Si } l' = \frac{l}{2}$$

$$M' = \frac{P \cdot l^2}{32}; \quad M_{adm} = \frac{P \cdot l^2}{8}; \quad \frac{M_{adm}}{M'} = \frac{32}{8} = 4$$

$$Q' = \frac{P \cdot l'}{4}; \quad Q_{adm} = \frac{P \cdot l}{2}; \quad \frac{Q_{adm}}{Q'} = \frac{4}{2} = 2$$

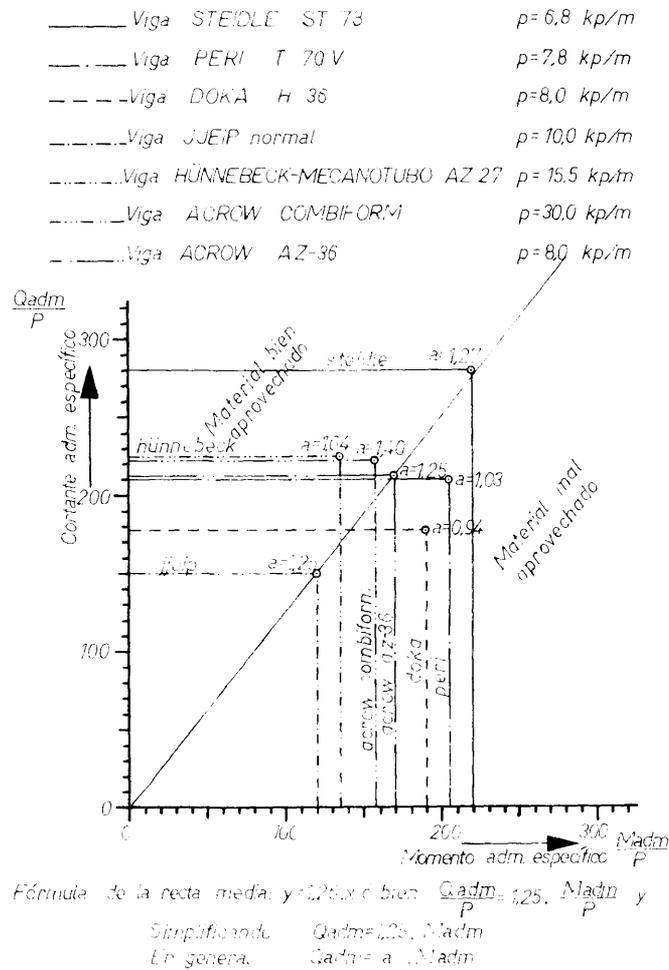
o sea que $M' = \frac{M_{adm}}{4}$ y $Q' = \frac{Q_{adm}}{2}$ de donde se deduce que para $l < 3,6$ el momento flector desciende más rápidamente que el cortante, siendo éste el esfuerzo predominante en el cálculo de las vigas para encofrados, porque rara vez los anclajes están colocados, sobre todo en encofrados de muro, a 3,6 m o más de altura.

De lo precedente se deduce una consecuencia lógica, y es que el constructor de vigas de madera encolada que conocemos, resumimos en el Cuadro n.º 3 sus características mecánicas y su Q_{adm} , y solamente en caso de que las vigas trabajen horizontalmente para soportar forjados y sobre todo cuando raras veces trabajan a flexión como vigas extensibles, el esfuerzo predominante será el momento flector, y aun en estos casos la distancia entre apoyos no suele rebasar el límite calculado de 3,6 m porque la reacción en los extremos superan la carga soportable por los puntales de apoyo.

Así que afirmar que una viga es más resistente que otra porque sus cordones tengan mayor escuadria, no tiene razón de ser en la práctica de los encofrados hechos con paneles formados por tales vigas.

Otra consecuencia importante que se deduce del Gráfico n.º 1 es que las vigas cuyo valor de «a» en su fórmula de la recta que pasa por el origen 0 y la intersección de las paralelas a sus Me_{adm} y Qe_{adm} que es, como ya sabemos, $Qe_{adm} = a \cdot Me_{adm}$ y estén situadas a la izquierda de la recta media dibujada, su material está bien aprovechado, porque por el límite de la luz de cálculo a cortante, interesa que a sea lo mayor posible, y las que están situadas a su derecha están mal diseñadas y su material, por tanto, mal aprovechado.

GRAFICO N.º 1



Fórmula de la recta media: $y = 1,25 \cdot x$ ó bien $\frac{Q_{adm}}{P} = 1,25 \cdot \frac{M_{adm}}{P}$ y

Simplificando $Q_{adm} = 1,25 \cdot M_{adm}$
 En general $Q_{adm} = a \cdot M_{adm}$

El Gráfico n.º 1, no hace más que corroborar la afirmación de J. E. Gordon, en The New Science of Strong Materials, citado por el Doctor Ingeniero de Montes César Peraza Oramas, en su artículo titulado «La madera y sus Propiedades», aparecido en el Boletín n.º 80 de AITIM, de julio-agosto de

1976, págs. 2 a 16, que «señala a la madera como el material utilizado por el hombre, en el que la relación Resistencia/Peso Específico, alcanza los máximos valores, y que sean las cualidades más destacables en la madera su ligereza y su resistencia».

(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 Verschaltungen 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 Verschaltungen aus Holz, Metall, usw. geboten.

publicaciones del instituto

PASTAS CERAMICAS

Enrique Gippini, Dr. en Ciencias
Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1979

Una visión de conjunto de la producción industrial cerámica, sin entrar en detalles de los distintos sistemas, desde la particular perspectiva de las pastas. Se trata de una colección de trabajos aparentemente independientes pero que reunidos definen a la producción cerámica como un proceso único, estudiable en conjunto, para obtener conclusiones de aplicación general sin importar cuál sea el producto final.

El índice ilustra los aspectos tratados más detenidamente, destacándose los capítulos III, V y VI por la ayuda que pueden significar a la hora de formular nuevas pastas; el VII porque es el futuro del control de calidad automatizado de pastas en grandes plantas, y el VIII por la interesante teoría sobre el prensado que expone.

Un volumen encuadernado en cartón con sobrecubierta plastificada en color, de 17 × 25 cm, compuesto de 260 páginas, numerosas figuras, tablas y ábacos. Madrid, 1979.

Precios: España, 2.000 ptas.; extranjero, \$ 40.