

estudio sobre encofrados de madera modernos

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

836-14

sinopsis

El autor continúa el desarrollo del tema sobre «Encofrados de madera modernos», resumiendo el estudio comparativo —ya hecho en la Parte III de este Estudio— de las diferentes vigas de madera encolada existentes en el mercado dando, además, las cargas y tensiones admisibles para maderas coníferas y la propuesta de Reglamentación de la Sección de Maderas del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias de España.

En la parte V del Estudio del autor, publicada en este artículo, se aborda el importante tema de las colas empleadas para las uniones de madera, algo realmente vital para la obtención de vigas de madera en celosía simplemente encoladas.

PARTES IV, V y VI

PARTE IV

LAS VIGAS DE MADERA ENCOLADA PARA ENCOFRADOS

En la Parte III, y concretamente en el apartado 1.5., hicimos ya una comparación tecnológica entre las vigas de madera existentes en el mercado y las varias metálicas concurrentes. Es evidente que entonces ya comparamos las vigas de madera de diversos tipos, pero sin profundizar entre todas las diferencias que ofrecen. Ahora vamos a tratar de ello en esta Parte IV.

1. Estudio comparativo

Para que un estudio comparativo sea técnico, tiene que ser desapasionado, y la única forma de eliminar cualquier preferencia o animadversión consiste en determinar una o varias características técnicas de las diversas vigas a comparar y someterlas a examen crítico riguroso, desde un punto de vista científico.

Como ya hemos dicho antes, esta labor preparatoria ya está hecha parcialmente en la Parte III, apartado 1.5., pero ahora vamos a profundizar más sobre la cuestión, pues son no uno, sino varios los aspectos técnicos a considerar para que la comparación resulte completa.

Creemos lo mejor estudiar cada tipo de viga a fondo, y al final recoger en un cuadro y en un gráfico los resultados obtenidos, para deducir cuál es la viga mejor y la que ofrece en cada caso mayores ventajas.

Advertimos que todas las vigas que vamos a estudiar, ahora están debidamente patentadas en España ante el Registro de la Propiedad Industrial, así que nadie pueda alegar que esta obra es una «divulgación pública» de tales vigas a lo que tan aficionados somos los españoles.

2. Especificaciones técnicas. Características específicas

En el Cuadro n.º 3. de la Parte I se dan las especificaciones técnicas de las vigas de madera encolada, de diversos tipos existentes en el mercado europeo, y en él se expresan en las dos últimas columnas las características específicas, que son cociente de dividir sus M_{adm} y Q_{adm} por el peso p por metro de viga.

El orden de mayor a menor en que se pueden clasificar las vigas de madera es:

MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS			
STEIDLE-TREGAR	St-73	220	M_{adm}	279	Q_{adm}
PERI WERK	T-70-V	205	»	211	»
ACROW-WOLFF	AW-36	169	»	212	»
DOKA	H-36	189	»	178	»
BUCHSBAUM	35-6/12-2 × 3/6	118	»	102	»

No cabe por tanto la menor duda que la viga que mejores características mecánicas específicas ofrece al usuario, respecto de su peso, la cual siempre tiene una cierta relación con su precio, es la primera citada, la viga STEIDLE-TREGAR, la primera que salió al mercado en 1959, aun cuando el invento data de 1956, con gran adelanto sobre todas las demás.

3. Cargas y tensiones admisibles

A falta, en España, de una normativa suficientemente amplia sobre las construcciones de madera, nos basamos en la norma DIN 1052, que para tensiones admisibles en maderas coníferas de 2.ª clase, intermedia entre la 1.ª inmejorable y la 3.ª desechable, da los siguientes valores:

— Flexión	f_{adm}	=	100 kp/cm ²
— Tracción paralela a las fibras.....	T	=	85 »
— Compresión paralela a las fibras	c	=	85 »
— Compresión perpendicular a las fibras..	c	=	20 »
— Rasante		=	9 »
— Cortante de fuerza transversal.....		=	9 »

Actualmente, en nuestro país, se está tratando de reglamentar la determinación de las tensiones admisibles, a propuesta de la Sección de Maderas del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias.

El proceso consiste en fijar unas tensiones básicas, deducidas a partir de unas probetas que no presentan defectos, y que son ensayadas en condiciones óptimas. Estas tensiones básicas comprenden ya el coeficiente de seguridad. La evaluación de las tensiones admisibles se efectúa reduciendo las tensiones básicas en un porcentaje que varía con los defectos que tenga la madera, tiempo de duración de las cargas, contenido de humedad, etc.

Recogemos a título orientativo en el Cuadro n.º 1, la propuesta de la citada Sección de Madera del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias.

CUADRO N.º 1

	NUDOS EN FUNCION DEL ANCHO DE CANTOS Y CARAS		ABUNDANCIA Y ESTADO	DESVIACION DE LA FIBRA, SEC. RADIAL	PUDRICIONES	FENDAS Y ACEBOLLADURAS	GEMAS	N.º MINIMO DE ANILLOS POR cm
	CANTOS	CARAS						
EXTRA 100	NO TOLERADOS			1/20	NO TOLERADAS	1/10	NO ADMITIDAS	
Iª/80	1/10	1/8	Sanos, adherentes, aislados o suma de diámetros	1/6	No toleradas	1/10	No admitidas	4
IIª/70	1/8	1/6	Sanos, adherentes, aislados o suma de diámetros	1/15	No toleradas	1/4	1/8	mínimo 4
IIIª/60	1/4	1/4	Sanos, adherentes, aislados o suma de diámetros	1/10	No toleradas	1/3	1/8	mínimo 4
IVª/40	1/3	1/2	Vicioso, podrido o saltado.	1/8	No toleradas	1/2	1/4	mínimo 2
Vª/40	1/3	1/2	Vicioso, podrido o saltado, aislado o suma de diámetros.	1/6	No toleradas	3/5	1/4	inferior 2
VIª	sin limitación		sin especificar	1/4	No toleradas	3/5	1/4	No fijado.

4. Coeficiente de seguridad

La elección de las tensiones admisibles en la madera es mucho más compleja que para los otros materiales clásicos utilizados en la construcción: el hormigón y el acero.

En el caso del acero, por ejemplo, se conocen, con casi total garantía, la tensión correspondiente al límite elástico, el cual se fija, a efectos de cálculo, como tensión límite. La tensión admisible se deduce dividiendo dicho límite elástico por un coeficiente de seguridad que engloba dos factores: uno que se refiere al material —del orden de 1,1—, y otro que corresponde, principalmente, a posibles errores en la estimación de las cargas; su valor oscila según la hipótesis de carga adoptada de 1,33 a 1,5.

Partiendo de los valores de las tensiones obtenidas en los ensayos de Laboratorio reseñados, se calculan las tensiones básicas de la manera siguiente:

- La máxima tensión media se reduce en un 25 %, para estimar la posible dispersión de resultados.
- El valor obtenido anteriormente se disminuye en un 43,8 %, para tener en cuenta la aplicación de cargas prolongadas.
- Este valor reducido se suele disminuir en un 40 %, para conseguir un coeficiente de seguridad 5/3. Naturalmente, este coeficiente de seguridad puede variar según el tipo de construcción, los daños previsibles en caso de rotura, etc.

- Finalmente el resultado obtenido se minorra o mayorra en un porcentaje que varía en función del comportamiento, ya conocido, de la madera en cuestión, cuando se utiliza como viga. Este porcentaje suele disminuir la resistencia en un 10 %, si bien debe estar garantizada por la experiencia en construcciones similares.

Si exceptuamos la última reducción, la tensión básica viene a ser la cuarta parte de la deducida de la muestra; es decir, que el coeficiente de seguridad es del orden de cuatro. En efecto: sea T_m la tensión media determinada en condiciones óptimas como las descritas:

$$T_m \cdot 0,75 \cdot 0,562 \cdot 0,6 = 0,25 \cdot T_m = \frac{T_m}{4} \quad \nu \sim 4$$

pero si partimos de ensayos con probetas reales, con nudos, defectos, humedad, etcétera, aunque todos ellos en cantidades admisibles, entonces se anula el primer 25 % de reducción, y el coeficiente de seguridad es del orden de:

$$T_m \cdot 0,562 \cdot 0,6 = 0,34 \cdot T_m = \frac{T_m}{2,96} \quad \nu \sim 3$$

PARTE V

COLAS PARA MADERA

1. Teoría del encolado

El encolado viene estudiándose hace unos 25 años desde un punto de vista científico, y hasta ahora no se ha logrado más que poner de manifiesto la gran cantidad de fuerzas que intervienen en el fenómeno. Sin embargo se ha logrado encuadrar una serie de ideas fundamentales.

Por de pronto la materia está constituida por una serie de moléculas, formadas por átomos fuertemente entrelazados entre ellos por fuerzas llamadas «valencias primarias», características de los fenómenos químicos, mientras que las moléculas se entrelazan por fuerzas denominadas «valencias secundarias», consecuencia de sus propiedades físicas las cuales son menos conocidas.

Suele admitirse que estas «valencias secundarias» son fuerzas de naturaleza eléctrica, de modo que ciertas moléculas asimétricas se pueden representar por un imán permanente, mientras que las simétricas se representan con una polaridad determinada, pero con variaciones rápidas de la densidad de carga.

Así las dos clases de fuerzas secundarias definidas corresponden a dos tipos o categorías de cuerpos llamados «polares» y «no polares». Sin embargo hay que advertir que en ambos tipos, las moléculas ejercen acciones recíprocas entre ellas. Así se explica la cohesión; viscosidad; cambios de estado; tensión superficial; miscibilidad; solubilidad; etc., y ello permite comprender porqué un sólido conserva su forma determinada.

De lo anterior se deduce la actuación de esas fuerzas en su utilización para crear una cohesión entre dos cuerpos sólidos yuxtapuestos, y éstos pueden ser no porosos o porosos.

En el caso de los primeros, la resistencia de una junta sólo dependerá de la fuerza de atracción que tengan las moléculas superficiales del soporte sobre las del adhesivo. En cambio si se trata de madera, por ejemplo, cuya estructura es celular, la cola penetra con los poros de aquélla cuando la cola aún no tiene cohesión, y sólo posteriormente combinarán las características. Entonces aparecerán en la referida cola las fuerzas secundarias, y

ésta será retenida por la madera de forma mecánica, lo que da lugar a la unión que se pretende conseguir. A la vez se establecerán otras fuerzas secundarias de atracción entre la cola y la madera, que coadyuvan a mantener el contacto.

Así pues tratándose de uniones encoladas de madera, las colas tienen dos modos de acción: las de adherencia mecánica y las de adherencia específica. No obstante esta separación tan marcada, cómoda para idealización del encolado, no es así en la realidad, porque la adherencia mecánica es inseparable de la específica.

Es importante señalar que una correcta unión encolada en madera se compone de cinco zonas distintas:

- La madera de una de las caras unidas.
- La parte impregnada de cola de esa cara.
- La capa de cola.
- La parte impregnada de cola de la otra cara.
- La madera de esta otra cara.

Conviene advertir que cuando la capa de cola está interpuesta entre dos superficies de madera impregnada de ella la madera puede haber sufrido modificación en sus propiedades por esa impregnación.

Al someter una unión encolada a un esfuerzo, el encolado puede ceder por cualquiera de esas cinco zonas antes definidas, pero no es correcto calificar la unión como defectuosa en el caso de que la rotura se localice en la línea de cola, pues a veces se observa la rotura en las zonas 2.^a y 4.^a, o sea, en las partes de madera impregnada, debida a una disminución de la resistencia de estas dos capas, consecuencia de modificación de las propiedades mecánicas de la madera al ser impregnada de cola. En cambio otras veces ocurre lo anterior.

La adherencia mecánica se produce por la penetración de la cola en los vasos e irregularidades de la superficie porosa de la madera, y de ahí que este tipo de adherencia adquiera importancia capital, relegando a un segundo lugar la adherencia específica. Pero tampoco se puede infravalorar el hecho de que la penetración de la cola en la madera está influenciada en gran parte por la adherencia específica, especialmente por las características del mojado de la cola.

De lo anterior se deduce que conviene emplear productos que al principio tengan poca cohesión, y que en su proceso físico y químico la adquieran posteriormente para provocar, con lo cual se emplean medios como los siguientes:

- Empleo de soluciones que eliminan el solvente.
- Utilización de sustancias en estado líquido que se solidifiquen por enfriamiento.
- Reacción química retardada, que produzca nuevo producto.

Los tres medios acabados de enumerar no están perfectamente diferenciados, y existen colas que funcionan con dos o más de ellos, siendo de advertir que tales procesos que están relacionados con una propiedad física, por ejemplo evaporación, solidificación, etc., son reversibles, y en cambio los fundamentados en transformaciones químicas son irreversibles.

En cuanto a la adherencia específica, se produce únicamente por la atracción entre las moléculas de la cola y las del cuerpo a encolar. A esa atracción o afinidad concurren numerosos factores. En primer lugar la naturaleza misma de las moléculas. En el caso de la madera éstas están constituidas principalmente por celulosa y lignina, con un porcentaje mayor o menor de humedad, y como todos estos cuerpos tienen la misma polaridad, de ahí la facilidad con que la madera absorbe el agua, siendo indispensable que la cola tenga la polaridad correspondiente.

También es necesario que la madera esté exenta de materias extrañas, o alteraciones capaces de modificar las propiedades de las moléculas superficiales. Estas alteraciones de la superficie pueden estar originadas por la presencia de cuerpos extraños, por ejemplo, suciedad; manchas de grasa; barniz; etc., o a una modificación física e incluso química de la lignocelulosa: quemaduras o pulido debidos a útiles mal afilados; tensado de las superficies debidas a secado defectuoso; etc.

Es necesario que el contacto entre las superficies sea lo más íntimo posible, y por tanto que el solvente tenga afinidad por la materia leñosa, de tal forma que lleve las moléculas de la cola hasta el soporte que ha de retenerla en la madera.

Por tanto el solvente deberá tener una polaridad conveniente para que el producto adhesivo pueda presentar, en relación con la madera, buenas características de mojado. Estas características de mojado dependen de la tensión superficial de contacto, siendo esta propiedad de la cola, la que le permitirá penetrar íntimamente, y estar en contacto con las fibras de la madera que se va a encolar.

Las sustancias que pueden emplearse como colas son todos los polímeros susceptibles de tener una afinidad específica elevada por la celulosa, y se los puede clasificar en productos naturales y artificiales.

En general estas sustancias, y la misma celulosa, presentan moléculas alargadas bajo forma de cadenas provistas de grupos activos laterales (OH; NH₂; etc.). Algunas se utilizan en solución, siendo realmente el agua quien tiene la afinidad más marcada por la celulosa.

La eliminación del agua como vehículo de la cola debe hacerla la propia madera después del encolado. Así se entiende la importancia que tiene el tanto por ciento de humedad de la madera en el momento del encolado.

El contacto de las superficies a encolar se efectúa bajo presión, influyendo ésta en la penetración del adhesivo, que estaba ya condicionado por la viscosidad de la solución y por las características de mojado. Estas dos últimas propiedades tienen gran importancia sobre la presión que se aplique. La penetración debe ser suficiente, pero no tan elevada que se corra el peligro de que desaparezca la línea de cola, con lo que se suprimiría la eficacia de ésta.

Puesto que la penetración termina en el momento que se produzca el fraguado de la cola, la duración de éste será un punto importante. Ya hemos visto que el fraguado se produce como consecuencia de la evaporación del solvente o de una reacción química. La misma madera puede eliminar el solvente, en general el agua, y la velocidad de eliminación es función de la clase de madera; la temperatura; la humedad y la presión.

En el caso de fraguado por polimerización, la reacción es debida a la influencia de una sustancia extraña, que funciona como catalizador bajo la influencia del calor. Todas estas acciones exteriores, principalmente la elevación de temperatura, influyen sobre la madera que será un factor que hay que poner a punto.

En el momento de la aparición de las fuerzas secundarias, que determinan el fraguado de la masa de la cola, conviene que ellas no alcancen un valor superior a la adherencia específica de ésta con la madera, pues en caso contrario se produciría la separación de la capa de cola sólida. Este fenómeno es tanto más peligroso cuanto mayor sea el espesor de la línea de cola, y se remedia mediante una sustancia encargada de amortiguar las tensiones internas producidas. Por ello se tienen que estudiar fórmulas especiales para resolver las dificultades que a veces presentan las juntas gruesas. En definitiva se concluye que las mejores juntas son las delgadas.

2. Clasificación de colas para madera de vigas

Desde que gracias a los avances de la química aparecieron las colas artificiales, la primera clasificación que se ocurre es separar las colas en dos grandes grupos: las colas «naturales» y las «artificiales», que en cierta medida corresponderán a las principales propiedades físicas de cada grupo.

Pero la gran variedad de productos que se presentan como colas para madera, pueden clasificarse con arreglo a muy diversos criterios, por ejemplo, como ya hemos dicho antes, según su origen (colas naturales animales, vegetales, minerales y orgánicas, y colas artificiales o sintéticas); según su comportamiento ante el calor (colas termoestables o termoplásticas); o según su utilización principal (colas para contrachapados, para ebanistería, para carpintería de intemperie, etc.).

Ante la clasificación de las colas, según su tipo de fraguado —en colas de fraguado en frío y en caliente—, era muy imperfecta ya que los términos «en frío» y «en caliente» no se aplican a la forma de preparación, sino a las condiciones de temperatura del fraguado, que a su vez no se prestan a una fijación, o delimitación clara entre los conceptos frío y caliente con suficiente exactitud, habiéndose encontrado, como hoy existen, colas que fraguan a temperaturas intermedias.

Y para mayor complejidad advertiremos que hoy en día hay productos que se pueden utilizar tanto en frío como en caliente, y en ambos casos se llega a resultados de características semejantes.

Una clasificación razonable está basada en el método de fraguado, que puede ser físico o químico. Así podemos clasificar las colas según se expone en el Cuadro 1.

CUADRO N.º 1

FRAGUADO DE COLAS POR CAUSAS PURAMENTE FISICAS	FRAGUADO DE COLAS POR CAUSAS PRINCIPAL O TOTALMENTE QUIMICAS
Silicato de Sosa	Urea - Formol
Almidón - dextrina	Fenol - Formol
Gelatina	Resoreinol - Formol
Caseína	Melamina - Formol
Esteres celulósicos	
Esteres vinílicos	

Por último, atendiendo a las características físicas de las colas, que son una de sus propiedades que más interesan para su uso, y habida cuenta de la aparición de colas con características nuevas, presentadas por las nuevas colas artificiales obtenidas por vía química y, como decíamos al principio, gracias al avance de ésta, parece que la mejor clasificación de colas para madera que puede hacerse es agruparlas por su parentesco químico, presentando en el Cuadro n.º 2 tal clasificación actual.

3. Colas artificiales o sintéticas.

Como en la fabricación de las vigas encoladas de madera, y en la de los tableros estabilizados o contrachapados, con quienes se construyen los «encofrados de madera modernos» que junto con sus convenientes accesorios, constituyen el objeto de esta obra, sólo se utilizan colas artificiales o sintéticas, a éstas nos referimos exclusivamente en los próximos epígrafes al tratar de sus características: clasificación; empleo; fraguado y demás informaciones útiles para el uso de esta obra, incluyendo al final una relación de tales colas fabricadas en nuestro país.

3.1. Generalidades.

Como ya hemos dicho que la necesidad aguza el ingenio, durante la II Guerra Mundial se padeció una gran escasez de colas de origen animal y vegetal, porque sus materias primas se dedicaban preferentemente a la alimentación, y ello determinó el desencadenamiento del estudio y experimentación masivos para encontrar nuevos procedimientos sustitutivos de la escasez anterior, lo que dio lugar al descubrimiento de cuerpos sintéticos nuevos, entre ellos el impresionante desarrollo de la industria de los plásticos, todo lo cual condujo a la utilización de técnicas nuevas basadas en el empleo de las resinas sintéticas descubiertas.

Hoy día el campo de las denominaciones «resinas sintéticas» y «resinas artificiales» se ha extendido tanto que recogen una gran cantidad de productos que, prácticamente, sólo tienen en común su estructura amorfa y el hecho de ser obtenidos por polimerización o condensación. Por eso conviene distinguir las resinas puramente sintéticas producidas partiendo de cuerpos de constitución simple y muy definida, tales como: el formol; acetileno; urea; etc., de las resinas semisintéticas obtenidas por la modificación de polímeros naturales de alto peso molecular, como son: la celulosa; la caseína; el caucho; etc.

Las resinas sintéticas son las que han tomado más importancia en el encolado de la madera. En ellas las fuerzas secundarias se generan normalmente gracias a la aparición de un cuerpo nuevo, formado por reacción debida a una sustancia extraña, mejor denominada catalizador, al calor, o a ambos efectos a la vez.

En unos casos, el producto detenido resulta de una transformación irreversible, y permanecerán en frío en él todas las propiedades físicas y químicas que tenga en caliente: a estas resinas se les denomina «termoestables».

Inversamente, en otros casos, los productos utilizados sufren bajo la acción del calor una modificación de sus propiedades físicas, que se manifiestan por un reblandecimiento que no desaparece, o sea, que la sustancia no vuelve a recuperar su dureza más que en frío. Esta modificación es la característica de las resinas «termoplásticas».

Todas las colas artificiales se presentan en estado sólido; o en solución verdadera; o en solución coloidal; o en suspensión en agua, o en suspensión en líquidos orgánicos. Las colas artificiales permiten obtener colas duraderas; insensibles o casi insensibles al agua; insensibles a muchos agentes químicos; y son inatacables por los microorganismos.

CUADRO N.º 2

CLASIFICACION QUIMICA DE LAS COLAS PARA MADERA

- COLAS MINERALES
 - Silicato de Sodio
- COLAS DE RESINAS SINTETICAS
- TERMOESTABLES
 - Fenol - Formol
 - Resorcina - Formol
 - Urea - Formol
 - Melamina - Formol
 - Poliuretanos
 - Resinas epóxicas
- COLAS DE RESINAS SINTETICAS
- TERMOPLASTICAS
 - Acetato de polivinilo
 - Poliamidas
 - Cloroacetato de vinilo
- PRODUCTOS CELULOSICOS
- DERIVADOS DEL ALMIDON
 - Acetato de celulosa
 - Nitrato de celulosa
 - Almidón
 - Dextrina
- COLAS DE PROTEINAS
 - Caseína
 - Soja
- COLAS DE ORIGEN ANIMAL
 - Cola fuerte
 - Cola de pescado
 - Albúmina de sangre
- COLAS DE BASE DE CAUCHO
- NATURAL O SINTETICO
 - Látex
 - Caucho natural o regenerado
 - Neoprenos
 - Copolímeros butadieno - acrilonitrilo

Para su empleo no se necesita gran cantidad de agua, como ocurre con las colas naturales, y ello proporciona la ventaja de no tener que humedecer tanto la madera. Pero en cambio, por la naturaleza misma de su proceso de obtención y aplicación, las colas artificiales exigen precauciones especiales, tanto en su almacenamiento como en su empleo.

3.2. *Resinas termoendurecibles.*

Como el endurecimiento de las resinas «termoplásticas» no tiene lugar más que por su enfriamiento, y las que hay que son sensibles a la acción del calor prolongado, aun a temperaturas moderadas, como son 50 °C, por ejemplo, y por otro lado, tanto las vigas de madera encolada como los paneles contrachapados, que constituyen básicamente los «encofrados de madera modernos» —objeto de la presente obra— en nuestro país tienen que soportar en verano a la intemperie, en ciertas regiones, temperaturas evidentemente expuestas al Sol, superiores a ese límite acabado de señalar, advertiremos que tanto para encolar las diversas piezas de las vigas como las diversas capas de los tableros, sólo se emplean colas «termoestables», por lo que de aquí en adelante solamente nos referiremos a ellas.

Las resinas «termoendurecibles» son el resultado de la condensación parcial del formol con las aminas como: la urea, la melamina; o con los fenoles como: el fenol, el eresol, la resorcina, etc., liberándose agua en esta condensación, pudiendo detenerse la reacción.

La solución acuosa obtenida es inestable, desde el punto de vista químico, por lo que la polimerización o condensación tiende a continuar, lo que origina el endurecimiento de la resina.

Tal reacción es muy lenta en frío, y en cambio mucho más rápida en caliente, o con la presencia de catalizadores, denominados vulgarmente «endurecedores», aunque existen cuerpos que retrasan la reacción en la solución acuosa.

Por ello las colas que existen en el comercio se componen de la resina propiamente dicha, el endurecedor y, eventualmente, otros productos destinados a modificar sus características.

Las colas de resinas termoestables se presentan en el comercio en forma de polvo o líquido más o menos viscoso, que pueden ser soluciones en agua, suspensiones acuosas o soluciones en solventes orgánicos. Muchas especialidades comerciales son mezclas de diferentes resinas, obteniéndose los endurecedores separadamente.

Como ya hemos visto que el calor es un desencadenante fundamental de la polimerización, resulta que en la conservación de las colas juega un importante papel el ambiente donde estén depositadas. Conviene que los recipientes que contengan las colas, se encuentren en ambiente seco y fresco, y herméticamente cerrados.

3.3. *Endurecedores.*

Son productos que actúan como catalizadores, y que, como el calor, o con éste a la vez, aceleran la polimerización de las resinas termoestables.

Químicamente hablando son ácidos, bases, o sales que por hidrólisis liberan un radical ácido o básico. Unas veces el endurecedor es formol o su polímero, el trioximetileno, el cual no actúa sólo como catalizador, sino que entra en reacción, integrándose en el producto final.

Como casos que más nos interesan, para los encolados de vigas y paneles que forman los «encofrados de madera modernos», tenemos las resinas del urea-formol, que se polimerizan con endurecedores ácidos; las resinas de melamina, que se polimerizan en caliente en presencia de endurecedores neutros; las resinas fenólicas, como el fenol y la resorcina que precisan endurecedores alcalinos.

En el comercio los endurecedores se presentan en forma de polvo o líquido, y la proporción en que se emplean son muy variables.

3.4. *Cargas.*

Son sustancias minerales u orgánicas que a veces se incorporan a las colas para modificar alguna de sus características físicas o mecánicas, como es la retracción, su viscosidad, etcétera, y también se utilizan en otras ocasiones para abaratar el costo de la cola finalmente aplicada.

Hay cargas que no aportan poder adhesivo porque es nulo, mientras que otras colaboran con la cola por su poder adherente propio. Normalmente las cargas se incorporan en el momento de la utilización de la cola.

Generalmente la adición de pequeñas cantidades de cargas sirve, como ya hemos dicho, para modificar las propiedades físicas principalmente la viscosidad, y en cuanto a las mecánicas, oponiéndose a la retracción en las juntas, por la absorción de tensiones internas, particularmente en el caso de juntas gruesas, no modificándose sensiblemente la resistencia de la cola.

En cambio, cuando se adicionan fuertes cantidades de cargas, se disminuye mucho el precio de la cola resultante, pero también disminuye notablemente la calidad de las juntas.

3.5. *Presión de fraguado.*

Influye más la especie y estructura de la madera a encolar, en la presión de fraguado, que el tipo de cola sintética empleada. Desde luego que la presión debe ser suficiente para poner en íntimo contacto las superficies a encolar, pero sin ocasionar roturas en la madera. La presión debe aplicarse hasta que la línea de cola haya adquirido una resistencia suficiente que permita mantenerse.

Las chapas delgadas deben encolarse con presiones reducidas, mientras que las uniones de madera maciza y los tableros contrachapados gruesos pueden soportar presiones elevadas, variando en todos los casos el tiempo de prensado con el tipo de cola utilizada la temperatura y el endurecedor empleado.

Ciertas colas de urea-formol y fenol-formol polimerizan entre 10 y 20 °C con endurecedores apropiados, luego son utilizables en frío. En este caso la polimerización es lenta y el tiempo de prensado elevado. En cambio para encolados en caliente, a las temperaturas habituales de las prensas que trabajan en caliente, que varían entre 90 y 160 °C, los tiempos de prensado se reducen a unos minutos.

3.6. *Clasificación de las colas sintéticas.*

Las resinas termoestables se dividen en dos grandes grupos: las aminoplásticas y las fenoplásticas.

Las primeras se distinguen por la presencia de grupos amino en su forma desarrollada y se subdividen en:

- Las resinas de carbamidas (urea-formol) y las sulfo-carbamidas (tiourea-formol).

- Las resinas de melamina (melamina-formol).

Las segundas se caracterizan por la presencia de núcleos bencénicos y de agrupaciones fenólicas en su fórmula desarrollada, como son:

- Las resinas fenol-formol o cresol-formol.
- Las resinas resorcina-formol.

3.7. *Condiciones de empleo.*

La realización de una unión de madera por encolado depende primordialmente de los siguientes factores:

- La madera.
- La cola.
- Las condiciones materiales de aplicación.

Empezando por la madera diremos que no todas las especies se prestan igualmente al encolado, porque por una parte la estructura física de las maderas es diferente de una a otra, y de ahí que la adherencia mecánica varía entre amplios límites. Por otra parte la acidez, la presencia de substancias oleaginosas o ceras, taninos, sales diversas, o sea, agentes químicos que puedan actuar sobre los coloides, influyen notablemente sobre la adherencia.

También la dimensión de las fibras, el diámetro de los vasos leñosos y su colocación influyen sobre el encolado. Es evidentemente más difícil encolar maderas a tope, que entre caras.

El grado de humedad de la madera tiene gran importancia en la calidad del encolado, pues un exceso de humedad puede diluir excesivamente la cola retrasando el fraguado, mientras que madera con poca humedad da lugar a fraguados de cola excesivamente rápidos. Para cada madera existe un grado de humedad óptimo que es preciso conocer de antemano.

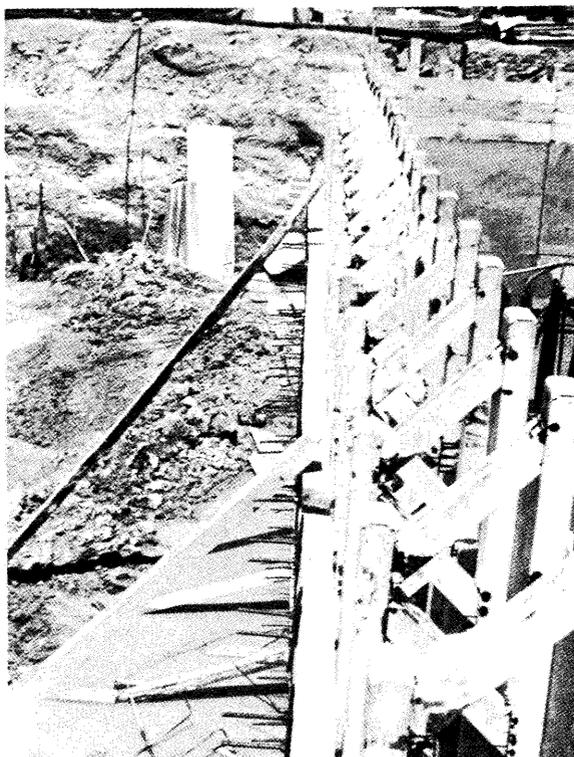
En la construcción de las juntas se debe estudiar la orientación y sentido de las fibras, para evitar o aminorar las posibles tensiones mecánicas internas que puedan dar lugar a deformaciones, desligamientos, desgarraduras, etc., de la junta encolada.

La temperatura de la madera juega un papel importante en la calidad de la junta encolada, ya que actúa inmediatamente sobre el fraguado de la cola, desde que se une ésta hasta la duración del tiempo de reunión.

En la preparación de las superficies a encolar, tiene mucha más importancia la precisión de su elaboración que su tersura y limpieza, aun cuando estos dos aspectos no sean despreciables ni mucho menos.

Lo que ocurre es que esa precisión de encaje entre las piezas a unir determina el espesor de la línea de cola y las resinas sintéticas, que son las que interesan a nuestro caso, se retraen en la polimerización, tendiendo a resquebrajarse si el espesor de la capa de cola es excesiva.

Vistas ya las influencias en el encolado de la madera pasamos a estudiar las originadas por el factor cola.



Nuevo Hospital Militar Gomez Ulla. Madrid.

Es evidente que la naturaleza y la composición de la cola deben adaptarse a las exigencias impuestas a la junta a realizar, habida cuenta del material que se dispone y de las condiciones de encolado. Todas las indicaciones dadas para el factor madera permiten fijar el tipo de cola a emplear.

Ya hemos dicho que las colas de resinas sintéticas se deben conservar a temperatura media y en ambiente seco.

La preparación de la cola consiste generalmente en disolver productos sólidos, o en diluir soluciones concentradas. El solvente más utilizado es el agua por su abundancia y economía, así como por su afinidad con la madera. La temperatura del agua tiene gran importancia en la calidad de la mezcla de cola obtenida.

Desde el momento que se prepara una cola se inician con evolución, más o menos rápida, unas transformaciones que pueden efectuarse según uno de los procesos siguientes:

- Transformación física de coloides; precipitación; gelificación; coagulación. Estas evoluciones pueden ser reversibles en ciertos casos, consiguiéndose su retraso por agitación intermitente que permita a la mezcla conservar su consistencia y viscosidad bastante tiempo, retrasando su gelificación.
- Fraguado progresivo; endurecimiento; polimerización. Esto ya es una transformación físico-química, o química solamente, que suele ser irreversible, grandemente condicionada al calor o a la presencia de catalizadores.

En cuanto al tercer factor que influencia en el encolado de la madera, ya dijimos que son las condiciones materiales de aplicación, comenzando por indicar que en ellas hay dos puntos importantes: la cantidad de cola, expresada generalmente en gramos/cm² de superficie, y la regularidad de la capa de cola obtenida.

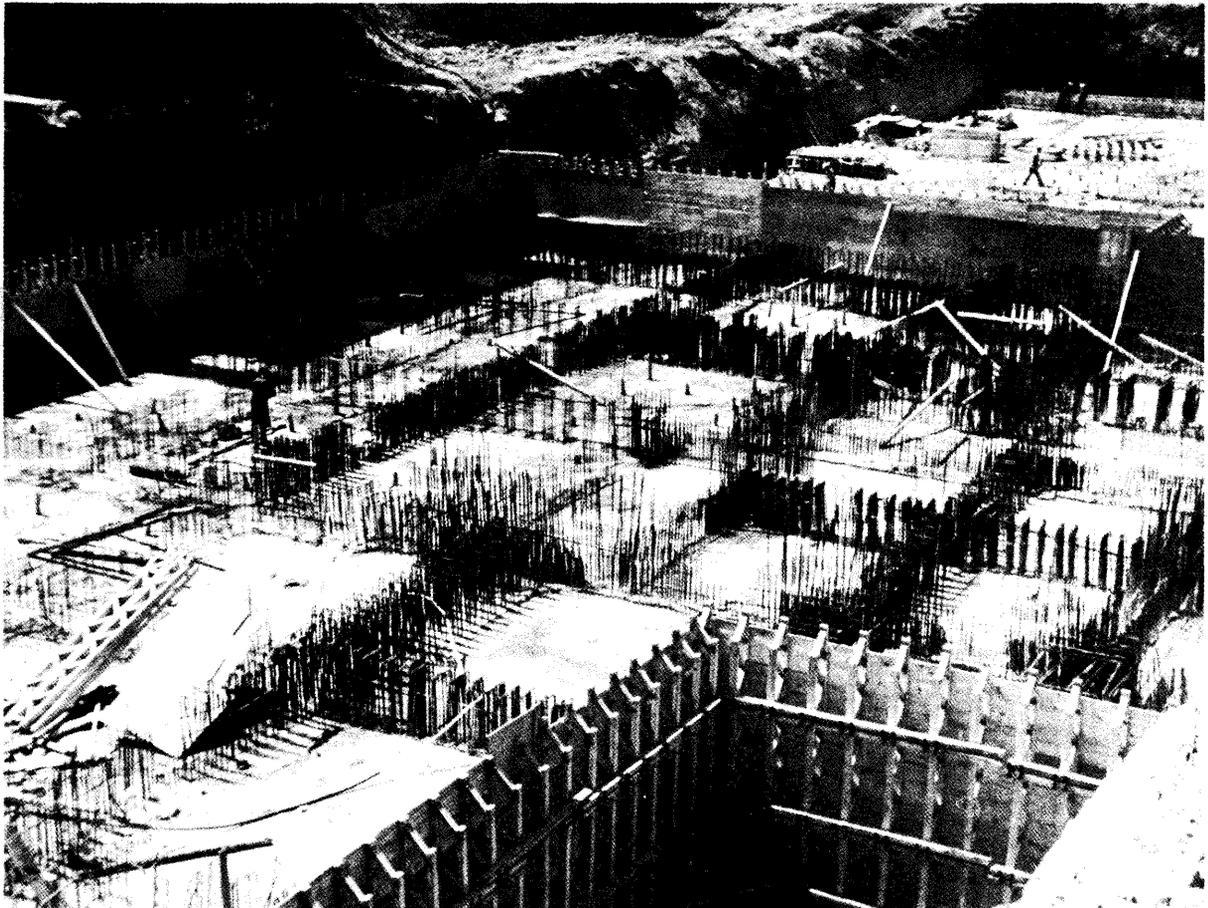
También el tiempo de reunión es importante condición de aplicación, comenzando por definir como tiempo de reunión el transcurrido entre el untado y la aplicación de la presión, que en realidad se puede dividir en dos fases:

- el tiempo entre el encolado y la yuxtaposición de las superficies a encolar, y,
- el tiempo entre esa yuxtaposición y la aplicación de presión.

Conocer bien y aplicar rigurosamente estos tiempos es de gran importancia para obtener encolados de alta calidad. En efecto, al aplicar la cola en capas finas se producen fenómenos necesarios, pero que no conviene forzar. El más importante consiste en la deshidratación parcial de la cola, por difusión de parte de su agua en la madera, lo que provoca un aumento rápido de su viscosidad.

Este fenómeno comienza en el momento en que se inicia la aplicación de la cola; continúa no solamente durante el tiempo de reunión sino también durante el proceso de prensado e, incluso, posteriormente hasta que el grado de humedad sea uniforme en toda la pieza de madera encolada o tablero.

Si la deshidratación es demasiado forzada por la aplicación de la presión, la viscosidad de la cola aumenta lo suficiente como para permitir su penetración en los poros o vasos de la madera, y la adherencia de la película de cola con la superficie de madera se verá afectada. Este es el caso más frecuente, cuando solamente está encolada una de las dos caras, y la penetración de la cola en la otra cara puede ser prácticamente nula.



Nuevo Hospital Gomez Ulla. Madrid.

En cambio, si el agua se difunde en la madera insuficientemente o demasiado despacio, la cola queda muy fluida y se verá escupida, o penetrará demasiado en la madera en el momento de la aplicación de la presión, dando una junta demasiado delgada.

La facultad de absorción de agua por la madera (o higroscopicidad) depende de su naturaleza, de su composición química y sobre todo de su grado de humedad.

Cuando la madera está muy húmeda, el endurecimiento de la junta se efectúa más lentamente, y entonces es preferible, para reducir el tiempo de fraguado, disminuir en lo posible la cantidad de agua incorporada en la cola preparada.

En todos los casos es importante seguir rigurosamente las indicaciones del fabricante de la resina o cola.

Para el éxito del encolado se impone la aplicación de una presión adecuada, uniforme sobre toda la extensión de la superficie a encolar, y mantenida constante durante un tiempo mínimo. La importancia de la presión a aplicar, que es función de un gran número de factores, la indica el fabricante.

De una manera general, si la cola lo permite, las juntas realizadas en caliente son más resistentes, tanto física como mecánicamente, que las realizadas en frío.

3.8. *Clasificación de colas por calidad de junta.*

La resistencia de las juntas de encolado evoluciona con el tiempo. Puede disminuir más o menos rápidamente cuando las juntas soportan la acción de ciertos factores físicos, como el calor o la humedad, de algunos agentes químicos como el oxígeno; los solventes; los ácidos y las bases, o el ataque de los microorganismos (algas, bacterias y hongos).

Los encolados realizados mediante resinas artificiales puras, o que no contengan más que cargas minerales, se pueden clasificar entre las más resistentes, pues son insensibles a todos los microorganismos y tienen gran resistencia al agua y agentes químicos.

Se puede admitir en primera aproximación la siguiente clasificación por orden de resistencia general decreciente:

- Resorcina formol.
- Fenol y Cresol formol.
- Melamina formol.
- Urea formol.
- Resinas vinílicas.

En cuanto al envejecimiento de las colas, todavía no se conoce con exactitud cómo se comportan con el tiempo los diferentes tipos de colas sintéticas, dado su relativamente reciente comienzo de empleo.

Sin embargo se puede admitir que todas las colas de madera en uso, actualmente, conservan indefinidamente sus cualidades de resistencia, a condición de utilizarse en capas delgadas, al abrigo de la humedad y elevadas variaciones de temperatura.

De forma general, las colas no adquieren resistencias máximas inmediatamente después del encolado. El fraguado puede continuar lentamente y completarse la polimerización durante meses, en especial para las colas en frío.

En cuanto al comportamiento de las colas frente al agua o la humedad, en algunas de ellas ya hemos dicho que el agua fría o caliente ejerce el papel de solvente, siendo posible insolubilizar total o parcialmente estas colas, añadiendo ciertos productos químicos que forman con ellas complejos insolubles.

En lo concerniente a resinas sintéticas, éstas son insolubles en agua cuando están totalmente polimerizadas, pero este estado no se alcanza más que después de un cierto tiempo. Por ello se pueden mejorar sus cualidades antihumedad de una cola sintética, añadiendo otras resinas de propiedades superiores, como es el caso de las colas urea-formol, mejoradas con resinas de melamina o de resorcina.

3.9. *Colas sintéticas de fabricación nacional.*

La industria de las colas sintéticas para madera, a base de resinas sintéticas, ha tenido en España un gran desarrollo pero, por la precipitación de éste, se ha creado un cierto confusiónismo en cuanto a su correcta aplicación y características.

Ante la inquietud que originaron ciertos fracasos industriales, el Consejo de la Asociación de Investigación Técnica de Industrias de Madera y Corcho, en colaboración con el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, acometió la ardua labor de ensayar y comprobar las características de 57 colas nacionales, de las cuales a nosotros sólo nos interesan tres, que son las que se emplean en la fabricación de vigas de madera encolada y cuyos nombres comerciales son: Aerodux Al 185 (Resorcina formaldehído); Cascofen RS 240-M (Resorcina formaldehído); Cascofen P-8 (Fenol formaldehído); y Carbofen (Fenol formaldehído). Las dos primeras inmejorables, pero muy caras y las dos segundas de aceptable calidad y mucho más baratas.

— Cascofen RS - 240 - M

Es una cola basada en una resina de resorcina formaldehído en solución, y como endurecedor se emplea el RXS - 1, que permite el endurecimiento a baja temperatura. La mezcla debe prepararse así:

- Cascofen RS - 240 - M: 5 partes en peso.
- Catalizador RXS - 1: 1 parte en peso.

Las propiedades del Cascofen RS - 240 - M, son:

- Aspecto: líquido rojo oscuro.
- Viscosidad a 21 °C: 250-600 cps.
- Contenido en sólidos: 56-60 %.
- Densidad: 1,1.

— Aerodux RL 185

Es una cola sintética preparada a base de resina resorcina/formaldehído que endurece con catalizador HP 150, o bien HP 155 a temperatura ambiente. La adición de los catalizadores debe ser en las siguientes proporciones:

	Partes en peso (g)	Partes en volumen (cm ³)
Aerodux RL 185	100	1.000
Catalizador HP 150	20	550
Catalizador HP 155	20	500

Los datos anteriores no significan que haya que emplear los dos catalizadores a la vez, sino uno u otro. El Aerodux RL 185 se suministra en solución de resina pardo-marrón, acuoso-alcohólica, de baja viscosidad.

— Cascofen PA - 8

Es una resina de fenol-formaldehído que utiliza como catalizador el Cascofen PXE - 3 para fraguar, prensando a temperaturas bajas, debiendo prepararse la mezcla en la siguiente proporción:

- Cascofen PA - 8: 100 partes en peso.
- Catalizador PXE - 3: 40 partes en peso.

Las características del Cascofen PA - 8 son:

- Aspecto: líquido rojo-violeta.
- Viscosidad a 21 °C: 200 - 300 cp.
- Contenido en sólidos: 42 - 45 %.
- Densidad: 1,17 - 1,18.

— Carbofen

Es una cola de fenol-formol, que necesita como endurecedor el F - 100 y como activante el T - 50, mezclándose de la siguiente forma:

- Carbofen: 100 partes en peso.
- Endurecedor F - 100: 27 partes en peso.
- Activante T - 50: 10 partes en peso.

PARTE VI

UNION POR ENTALLADURAS MULTIPLES

1. Referencia histórica y clasificación de entalladuras

Como ya hemos dicho en la Parte I, durante la Guerra de 1939-1945, el profesor alemán Karl Egner desarrolló una técnica de empalme longitudinal de piezas de madera para la construcción de puentes. Diez años después se hicieron ensayos sobre las piezas unidas que sirvieron en la construcción de esos puentes, con resultados excelentes puesto que las piezas empalmadas presentaron unas tensiones de rotura a tracción de 246 kp/cm² y 309 kp/cm² a flexión. Las roturas se presentaron en los nudos o en zonas donde se habían colocado clavos.

Esta técnica de unión de piezas también se empleó en Estados Unidos durante la segunda Guerra Mundial, sobre todo en la fabricación de hélices de aviones.

En Europa, el Instituto Otto-Graf redactó en 1960 la norma DIN 68140, que impulsó la aplicación de este sistema de empalme longitudinal en otros países europeos.

El empalmado por entalladuras múltiples, es una unión longitudinal de piezas de madera por el encolado de éstas, en cuyos extremos se han practicado unas entalladuras en forma de cuña de sección trapezoidal.

Según la longitud adoptada para las entalladuras, se pueden considerar 3 tipos de empalmes:

- Entalladura múltiple clásica. Fig. 1 (*).
- Entalladura corta o minientalladura. Fig. 2 (*).
- Micro-entalladura. Fig. 3 (*).

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

2. Longitud y perfil de las entalladuras.

El perfil y longitud de la entalladura está descrito con precisión, por la nueva norma alemana DIN 68140, de octubre de 1971, que establece los diferentes valores, según el empleo al cual se destina. En el siguiente Cuadro n.º 1, se especifican las dimensiones características de las entalladuras, según esa norma y de acuerdo con las Figs. 1 y 2.

CUADRO N.º 1

CATEGORIAS DE NORMAS AFNOR	CLASE DE CARGAS	L Longitud mm	p Paso mm	β grueso extremo entalladura mm	$V = \frac{\beta}{p}$ grado de debilitamiento
I	Construcciones sometidas a fuertes cargas.	7,5	2,5	0,2	0,08
		10	3,7	0,6	0,16
		20	6,2	1,0	0,16
II	Carpintería, perfiles de ventanas, puertas, muebles, etc.	50	12,0	2,0	0,17
		60	15,0	2,7	0,18
III	Carpintería, perfiles de ventanas, puertas, etc.	4	1,6	0,4	0,25
		15	7,0	1,7	0,24
		30	10,0	2,0	0,20

Para el grupo de esfuerzos II, se acepta un grueso de entalladura x (Fig. 2), de 5 mm como máximo para las entalladuras laterales, con la condición de que este grueso no pase el 10 % de la anchura total del empalme.

3. Resistencia mecánica de las entalladuras.

3.1. Fórmulas generales

El cálculo de las uniones de este tipo ha sido realizado por Blömer. El principio de la unión con empalmes de este tipo, es obtener un equilibrio entre la resistencia a la cizalladura del plano de encolado, y la resistencia a tracción de la madera maciza. (Fig. 1.)

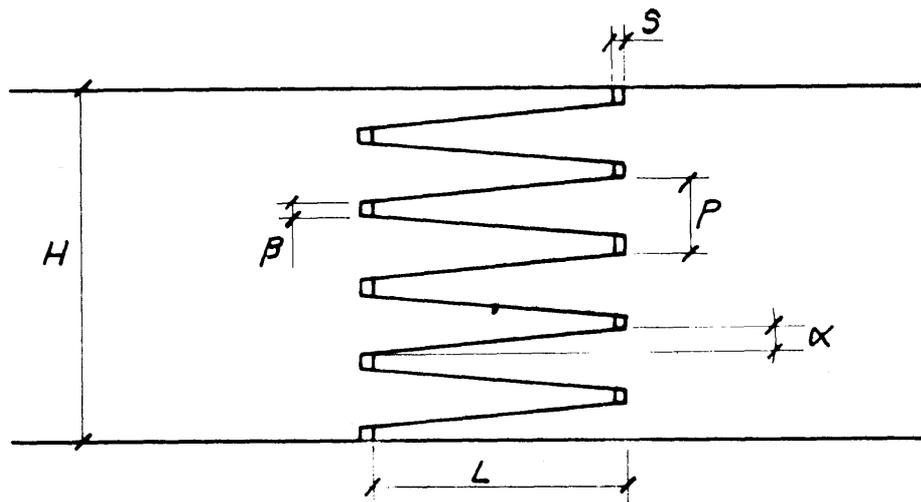


Fig. 1

De aquí la fórmula:

$$\tau \cdot A_c \geq \sigma_t \cdot A$$

en la que:

- τ = tensión unitaria de trabajo del plano de encolado por cizalladura.
- A_c = área del plano de encolado.
- σ_t = tensión unitaria de trabajo de la madera a tracción.
- A = área de la madera sometida a tracción.

$$A_c = 2 \cdot (L - S) = 2 \cdot L \left(1 - \frac{S}{L} \right)$$

y llamando j a S/L , que es el juego relativo de la entalladura,

$$A_c = 2 \cdot L \cdot (1 - j)$$

Por otra parte:

$$A = p - 2 \cdot \beta = p \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{\beta}{p} \right)$$

luego:

$$A = p \cdot (1 - 2 \cdot v)$$

en la que $v = \beta/p$ es el grado de debilitamiento y p el paso de entalladura.

Pues bien: la longitud de la unión debe cumplir la siguiente desigualdad:

$$L \geq \frac{p \cdot (1 - 2 \cdot v) \cdot \sigma_t}{2 \cdot (1 - j) \cdot \tau} \quad (1)$$

Para maderas resinosas de II categoría se tiene:

$$\begin{aligned} \sigma_t &= 85 \text{ kp/cm}^2 \\ \tau &= 9 \text{ kp/cm}^2 \end{aligned}$$

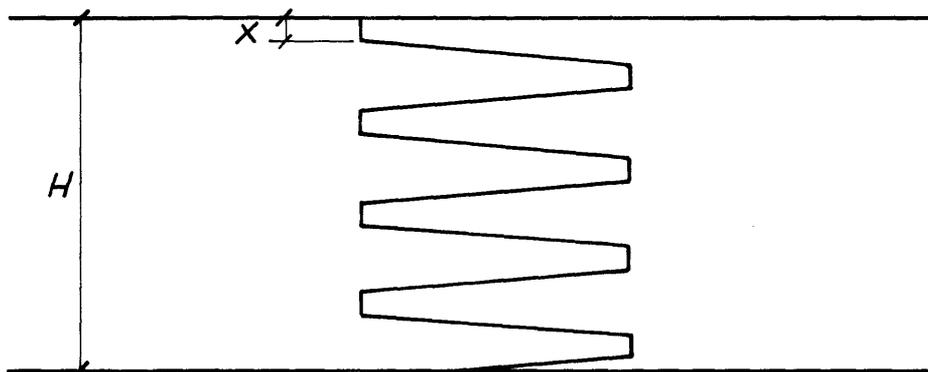


Fig. 2

de donde:

$$\frac{\sigma_r}{\tau} \approx 10$$

o sea que sustituyendo en (1.) encontramos:

$$\begin{aligned} l &\leq 10 \text{ mm}; L \geq 3,6 \cdot p \cdot (1 - 2 \cdot v) \\ L &> 10 \text{ mm}; L \geq 4 \cdot p \cdot (1 - 2 \cdot v) \end{aligned}$$

Estas fórmulas expresan cómo las diferentes características de la entalladura deben estar ligadas entre si, y en particular los valores mínimos de L, según la norma DIN citada.

La pendiente de la entalladura viene definida por la fórmula (Fig. 3.)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{p}{2} - \beta}{L}$$

Las pendientes entre 1/8 y 1/12 dan los resultados óptimos. Para pendientes más fuertes se obtienen resistencias mecánicas menores, así cuando la pendiente pasa de 1/6 a 1/4 la resistencia de la unión disminuye en un 50 %.

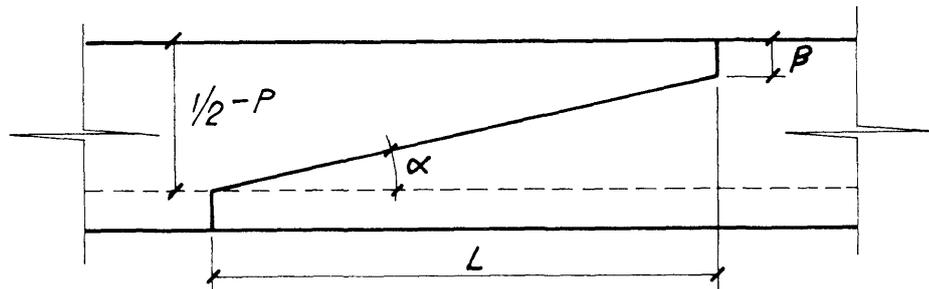


Fig. 3

En la práctica se emplean pendientes comprendidas entre 1/8 y 1/10, puesto que los aumentos de resistencia de la junta son pequeños a partir de estos valores, y la fabricación se complica considerablemente.

La citada norma DIN 68140 de octubre de 1971, indica para la pendiente los siguientes valores dados en el Cuadro n.º 2.

La consecuencia es clara: a menor pendiente mayor resistencia a tracción de la unión por entalladura.

CUADRO N.º 2

CATEGORIAS	v	L	α
I	≤ 0,18	≤ 10	7,5° (1/7,6)
		> 10	7,1° (1/8)
II	≤ 0,25	≤ 10	7,5° (1/7,6)
		> 10	7,1° (1:8)

Hemos visto que una pendiente pequeña permite resistencias mecánicas elevadas, siempre que haya un buen encolado de madera sobre madera en el sentido de la fibra, sin embargo tiene el inconveniente que disminuye el paso, y multiplica el número de malos encolados al final de las entalladuras.

La tendencia sería a reducir a cero el grueso del extremo de las entalladuras (β), pero se corre el peligro de desafilarse rápidamente las fresas y que la madera se astille, así como el riesgo que los extremos tan finos actúen de tope, y limiten la presión de aprieto que hay que dar a los planos de encolado.

La tantas veces citada norma DIN 68140, como se indica en el Cuadro 1, prescribe para el grado de debilitamiento $v = \beta/p = 0,18$ como máximo para cargas fuertes de I y II categorías, y acepta hasta 0,25 para piezas sometidas a cargas pequeñas o de III categoría.

En consecuencia: por lo que al grueso de la entalladura en su extremo se refiere, a menor grueso mayor resistencia a tracción.

También es conveniente formular la relación, o mejor dicho los límites, entre la longitud de la entalladura y el paso.

El área de encolado es la hipotenusa de un triángulo rectángulo, cuyos catetos se conocen, luego su relación con el paso es

$$A_c = \frac{2 \cdot \sqrt{L^2 + \left(\frac{p}{2} - \beta\right)^2}}{p} = \frac{2 \cdot L \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}{p}$$

y como se trata de ángulos α pequeños, se puede admitir sin gran error que:

$$\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \approx 1$$

de donde:

$$A_c = \frac{2 \cdot L}{p}$$

Para numerosas especies la resistencia a la tracción es del orden de 8 a 10 veces la de cizallamiento, siendo necesario que

$$\frac{L}{p} = 4 \text{ a } 5$$

para obtener junta de resistencia máxima para un grueso dado de entalladura. La resistencia aumenta proporcionalmente con la relación L/p hasta un valor comprendido entre 3 y 5 (según la especie forestal) y luego disminuye o aumenta, pero de forma menos constante.

3.2. Humedad de la madera

De la humedad de la madera depende el tipo de cola utilizada y el empleo final de la madera empalmada.

Actualmente la humedad máxima autorizada para el encolado es del 18 %, cuando se emplean colas a base de resorcina. La diferencia de humedades entre las piezas a unir no puede ser mayor del 5 %, para evitar contracciones diferenciales importantes.

Lo usual en la madera empleada en la fabricación de vigas encoladas, es utilizarla con un 12 % de humedad, que está dentro del límite fijado antes.

3.3. *Fabricación de las entalladuras*

La ejecución correcta del perfil de las entalladuras interviene de forma importante en el resultado de los empalmes. En el caso de las resinosas se pueden tolerar pequeñas imperfecciones, que se atenúan en el momento del prensado, pero no ocurre así con las frondosas que crean serios problemas.

Suele ser interesante desbastar primero mediante aserrado y terminar después por fresado, lo que además permite disminuir la potencia de los motores, sobre todo en el caso de entalladuras largas que pasan de 30 mm.

Es importante que las herramientas no estén desgastadas ni desafiladas.

Se ha comprobado que si la superficie fresada se ha quemado por el calor desprendido por el rozamiento, el encolado es malo, y por otro lado las herramientas desgastadas arrancan la madera, con lo que luego el encolado es menos sólido.

3.4. *Encolado y tipos de cola empleados*

El encolado debe hacerse inmediatamente después del mecanizado, con el fin de evitar las deformaciones de las entalladuras. La norma alemana prescribe que para empleos en los que la madera trabaje bajo cargas fuertes, como es el caso de las vigas de los modernos encofrados de madera, el intervalo de tiempo entre la mecanización y el encolado no puede ser superior a más de 24 horas.

En el caso de utilizar colas compuestas de varios componentes, se debe operar con cola previamente preparada.

En cuanto a las colas empleadas nos remitimos a lo dicho en la Parte V, y especialmente a las características dadas para ciertas colas nacionales especificadas en el apartado 3.9. de dicha Parte V.

3.5. *Presión de ajuste aconsejable*

La presión a aplicar durante el encolado tiene una influencia decisiva en la resistencia final de la junta. La norma DIN 68140 (octubre 1971) exige presiones mínimas de:

120 kp/cm² para longitudes de 10 mm
20 kp/cm² para longitudes de 60 mm

En ningún caso la presión puede ser inferior a 10 kp/cm².

Una propiedad importante de los empalmes con entalladuras múltiples es su autoajuste, cuyo fenómeno se explica por las deformaciones elastoplásticas de las superficies de las entalladuras, cuando sobre los perfiles unidos se aplica una presión grande.

Se ha demostrado en ensayos que la resistencia inicial de la unión, una vez hecha y prensada, varía linealmente con la presión de ajuste.

Otra propiedad importante de las uniones por entalladuras múltiples es su autorretención, de manera que una cuña de ángulo $2 \cdot \alpha$ (Fig. 3.) es irreversible siempre que ese ángulo sea inferior a dos veces el ángulo de rozamiento de los materiales puestos en contacto, en este caso madera con madera, de manera que para desarmar la unión haría falta (prescindiendo de la cola), ejercer un esfuerzo igual y contrario a la presión de armado.

El empleo de presiones de armado elevadas permite tiempos de prensado cortos, en los que se expulsa la cola en exceso.

La repetida norma DIN 68140 fija el tiempo mínimo de prensado en 2 segundos. Este tiempo es muy importante e influye sobre la calidad de la junta.

Teniendo en cuenta todas las circunstancias anteriores, se puede establecer un gráfico de presiones recomendables en función de la longitud de las entalladuras. (Gráfico 1.)

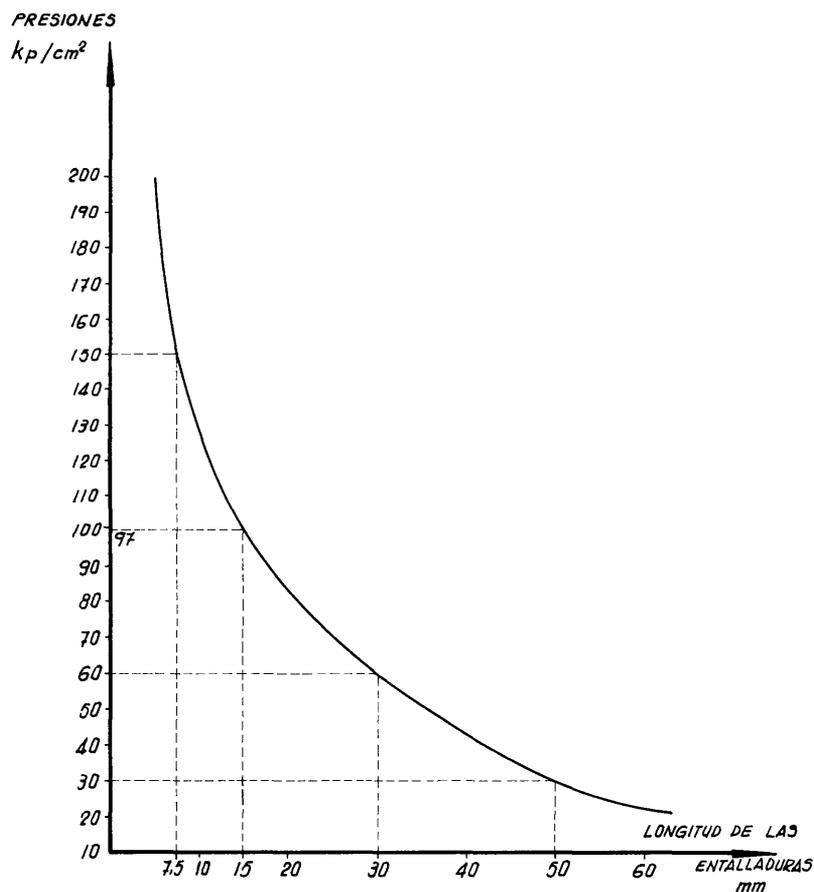
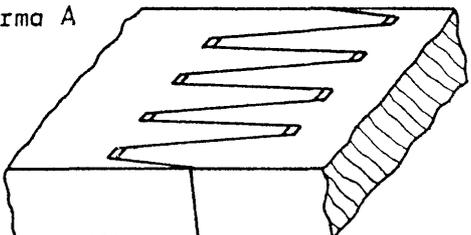
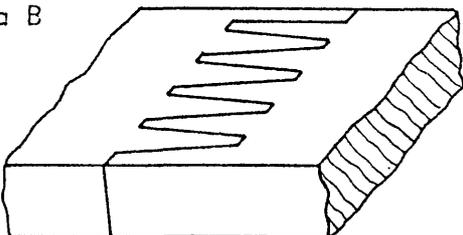
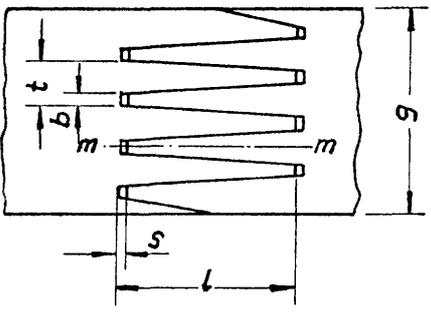


Gráfico 1

ENSAMBLAJES DE MADERA		D I N
Unión longitudinal por entalladuras múltiples		68 140
Medidas en mm		
<u>1. Definición</u>		
El ensamblaje es una unión longitudinal de dos piezas de madera, cuyos extremos se empalman y encolan, estando los dientes o entallas igualmente repartidos y del mismo perfil (véase figuras 1 y 2).		
Forma A	Forma B	
		
Tamaño A 50	Tamaño B 35	
Figura 1. Unión preferentemente para grupo de esfuerzo I	Figura 2. Unión con dientes o entallas más anchos solamente para grupos de esfuerzos II y III	
<u>2. Perfiles de dientes o entallas</u>		
	<p>l = Longitud de dientes o entallas</p> <p>t = Distancia entre dientes o entallas = paso</p> <p>b = Anchura o grueso del extremo del diente o entalladura</p> <p>g = Anchura total del empalme</p> <p>s = Juego del fondo de la entalladura</p> <p>m - m = Eje de diente o entalladura</p>	
Figura 3. Empalme de forma A		
Características de un empalme de forma A con longitud de dientes o entallas = 50 mm		

Empalme A 50 DIN 68 140

Grupo de esfuerzo y forma	Longitud de dientes o entallas l	Distancia entre dientes o entallas = paso t	Anchura o grueso del extremo de diente o en talla b	Empleo
I Forma A	60	15	2,7	Piezas de construcción que se calculan según DIN 1052 2) o que se exponen a esfuerzos mecánicos muy altos.
	50	12	2	
	40	9	1	
II Forma B o forma A	35	12	2,7	Ventanas, puertas, suelos, tresillos, etc.
	30	11	2,7	
	25	10	2	
III Forma B o forma A	20	8	2	Listones, etc.
	15	7	2	

- 1) En los dientes o entallas en cuña de forma B, la anchura b puede tener hasta 5 mm para los extremos (véase figura 2), pero no se puede sobrepasar el 10 % de la anchura total g del empalme.
- 2) La nueva edición de la norma DIN 1052 que en estos momentos se está confeccionando, contendrá valores para el esfuerzo admisible del empalme. Hasta que salga la nueva edición se tendrá en cuenta el grado de debilitamiento $v = \frac{b}{t}$ en los cálculos de sección transversal.

Continuación página 2
Explicaciones en página 3

Comité de Normalización de la madera en el
Comité Alemán de Normalización (DNA)

DIN 68 140 Junio 1960

(Página 2.—DIN 68 140)

3. Realización del ensamblaje

3.1. Contenido de humedad en la madera

El contenido de humedad en las distintas piezas de madera a empalmar tiene que ser igual; tiene que ser similar a aquel que tenga la unión por término medio según los cambios anuales en el sitio donde se emplea. Lo que se refiere a madera de construcción, según DIN 1052, el contenido de humedad de la misma tiene que ser de $12 \pm 3 \%$ (dejando aparte los casos especiales).

3.2. Colocación de los dientes en cuña o entallas

Para el grupo de esfuerzos I los extremos de los dientes en cuña o entallas tienen que tener una distancia mínima de 15 cm del próximo empalme.

3.3. Fabricación de dientes en cuña o entalladuras

En la fabricación del empalme se tiene que tener en cuenta un ajuste muy exacto. Ello sólo se puede conseguir con herramientas especiales (fresadora o sierra) y con máquinas especiales.

3.4. Encolamiento de los dientes en cuña o entalladuras

Las piezas se encolarán lo antes posible para así evitar que se desajusten por causa de aumento o disminución del contenido de humedad; en caso de lluvia, las entalladuras se trabajarán y encolarán el mismo día.

3.41. Tipo de cola

Para el encolamiento de los dientes o entallas se pueden usar todas las colas con características de llenado de ranuras. Al escoger la cola hay que tener en cuenta las condiciones de clima, a las cuales se exponen los empalmes.

3.42. Aplicación de la cola

Con colas endurecedoras ácidas sólo se debe trabajar mediante procedimiento de entremezclado. Se necesita aplicar a las dos caras cuando el empalme es para el grupo de esfuerzos I.

3.43. Presión

3.431. Presión longitudinal

Los empalmes con perfiles del grupo de esfuerzos I a III se presionan longitudinalmente durante poco tiempo.

Si la presión longitudinal no se mantiene hasta que la cola haya fraguado bastante, la presión tendrá que ser:

Madera conífera: mín. 30 kp/cm² de sección transversal de madera.

Madera de frondosas: mín. 40 kp/cm² de sección transversal de madera.

3.432. Presión transversal

La presión transversal es necesaria en empalmes con perfiles del grupo I hasta que frague la cola en los dientes o entallas extremos.

(Página 3.—Explicaciones)

Correspondiente a los diferentes empleos se ha previsto repartir los perfiles en tres grupos de fuerza (párrafo 2). Para los perfiles del grupo I, previstos para piezas de esfuerzos muy elevados, la anchura de los dientes en cuña o entallas debe ser la misma en todos ellos y el grado de debilitamiento debe ser muy pequeño. En los empalmes de los grupos II y III con menos esfuerzos, el grueso del extremo de la entalladura puede ser mayor (forma B), por lo que dada una presión longitudinal suficiente en el encolamiento no es absolutamente necesaria la presión transversal.

Para poder ver si un empalme ya en uso corresponde al grupo de esfuerzos I, damos a continuación un procedimiento para el cálculo o demostración de estos perfiles. Cumplen los perfiles las condiciones indicadas, pueden ser empleados, aun cuando no corresponden exactamente a las medidas indicadas en la hoja I, párrafo II.

Las condiciones de equilibrio entre los esfuerzos de cortadura y de tracción existentes en los empalmes son como sigue:

$$\tau_{adm} \cdot F_r = \sigma_{adm} \cdot F_o$$

Según unidad de longitud en dirección de la altura de diente o entalla es:

$$F_r = 2 (l - s) = 2 l (1 - e) \\ \text{y } F_o = t - b = t (1 - v)$$

En las fórmulas indicadas, los diferentes signos son:

S = Juego relativo de dientes o entallas en el empalme entre el extremo del diente y el fondo de la entalladura de los dientes contrarios.

$e = \frac{S}{l}$ = Juego relativo de la entalladura.

$v = \frac{b}{t}$ = Grado de debilitamiento.

Como la inclinación de los flancos de los dientes o entallas es en general más pequeña o igual que 1 : 10, se puede ajustar con suficiente exactitud la longitud del diente o entalla con la del flanco. Con las siguientes fórmulas se consigue la longitud de entalla o diente más favorable.

$$l = t \frac{(1-v) \cdot \sigma_{adm}}{(1-e) \cdot 2 \cdot \tau_{adm}}$$

Para madera conífera de la clase de calidad II según DIN 4074 se indica en DIN 1052 lo siguiente:

$$\begin{aligned} \sigma_{adm} &= 85 \text{ kp/cm}^2 \\ \tau_{adm} &= 9 \text{ kp/cm}^2 \end{aligned}$$

El juego relativo del fondo de la entalladura (e) se puede aumentar a un máximo de un 5 %. Los empalmes para el grupo de esfuerzos I tienen que tener un juego pequeño del fondo de la entalladura para así garantizar plena capacidad en los flancos de los dientes o entallas.

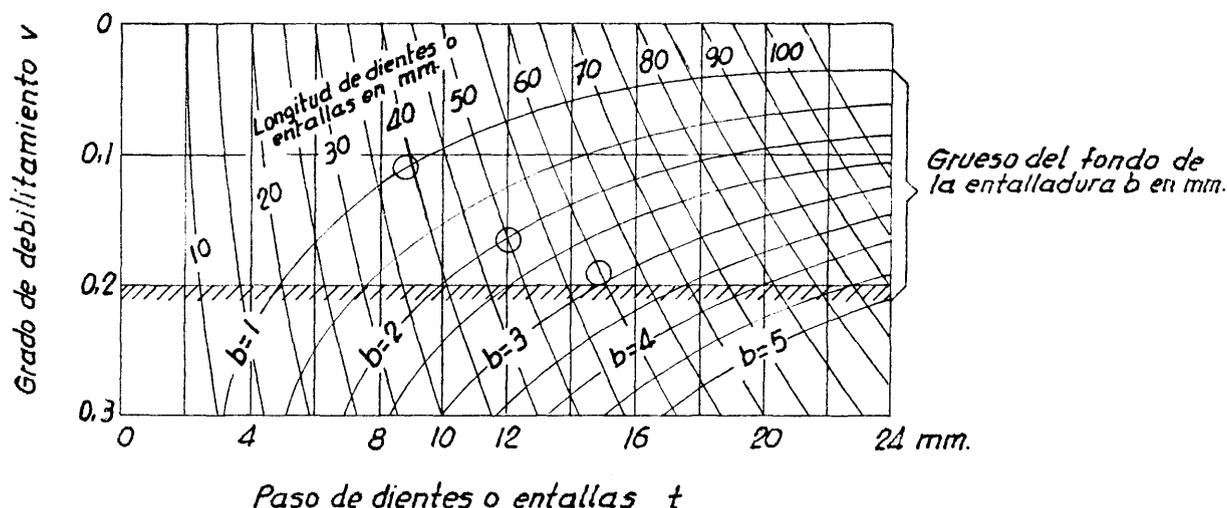
Para empalmes de los grupos de esfuerzos, II y III hay que tener en cuenta que el juego sea igual a 0, para obtener superficies de visibilidad lisas y correctas.

Con $e = 0,05$ se da para la longitud de diente (l):

$$l = 5 \cdot (1-v) \cdot t$$

En el siguiente diagrama se repite gráficamente la fórmula anterior y contiene la relación entre la longitud de diente o entalla (l), paso de diente (t), grueso del fondo de la entalladura (b), y el grado de debilitamiento (v). Para el grupo de esfuerzos I sólo se admiten perfiles de entalladuras cuyo punto de intersección entre las correspondientes curvas de la longitud de dientes (l), el paso de diente (t) y el grueso del fondo de la entalladura (b) estén por encima de la línea rayada en $v = 0,2$. Los perfiles según DIN 68 140 del grupo de esfuerzos I se destacan en el diagrama por círculos.

(Continuará)



résumé

NOTICE RELATIVE A LA DETERMINATION DES «LONGUEURS DE FLAMBEMENT» AUX PORTIQUES METALLIQUES A DEUX VERSANTS

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

L'auteur continue à traiter le thème sur les «Coffrages en bois modernes», résumant l'étude comparative —contenue dans la Partie III— des différentes poutres en bois collé existant sur le marché et donnant, en plus, les charges et les contraintes admissibles pour les bois conifères et la proposition de réglementation de la Section des Bois de l'Institut Forestier de Recherches et d'Expériences d'Espagne.

Dans la partie V du statut, ici publiée, l'auteur aborde le sujet important des colles utilisées pour les assemblages en bois, ce qui est réellement vital pour l'obtention des poutres en bois en treillis simplement collées.

summary

NOTE RELATIVE TO THE DETERMINATION OF «BENDING LENGTHS» IN DOUBLE-SLOPING METAL PORTAL FRAMES

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

The author continues the development of the subject «Modern Timber Formwork», by summing up the comparative examination —already carried out in Part III of this Study— of the different types of glued timber existing on the market. In addition, the loads and stresses allowable for coniferous timber and the proposal for establishing Regulations for the Timber Section of the Research and Experimental Forestry Institute of Spain are given.

In part V of the author's Study, published in this article, the important subject of the glues used for joining timber, a truly vital point in order to obtain louvered timber beams which are simply glued together, is approached.

zusammenfassung

ANMERKUNG BEZUEGLICH DER BESTIMMUNG DER «KNICKLÄNGEN» VON METALL-SATTELDAECHERN

Dr. Juan M. de la Peña Aznar,
Industrieingenieur

Der Verfasser entwickelt weiterhin das Thema der «Modernen Holzverschalungen» und fasst die Vergleichsstudie — welche bereits in Teil III dieser Arbeit aufgestellt wurde — der verschiedenen, handelsüblichen Holzverschalungen zusammen. Er gibt dabei gleichzeitig zulässige Belastungen und Spannungen für Nadelhölzer und einen Vorschlag für eine Verordnung der Abteilung für Hölzer des Spanischen Forstwirtschaftsinstitutes für Forschung und Versuchsdurchführung an.

In Teil V der Studie, welche in diesem Artikel veröffentlicht wird, werden die bedeutenden Leimsorten behandelt, die bei der Holzverbindung eingesetzt werden und bei der Herstellung von einfach geleimten Holzbalcken lebenswichtig sind.