

Hangar de 32 por 50 metros
construido en Francia
con madera laminada

LA MADERA EN LAS GRANDES CONSTRUCCIONES

Esta es la tercera y última parte del trabajo que con el título aquí consignado se inició en el primer número de nuestro Boletín. «La madera en las grandes construcciones» ha puesto de manifiesto las posibilidades y medios con que la madera cuenta para competir en determinadas circunstancias con el hierro y el cemento. Este capítulo de conclusión incluye un detallado esquema sobre el proceso de trabajo en una industria de maderas laminadas.

III. PROYECTO DE PIEZAS LAMINADAS

Estimación para las piezas sometidas a flexión

A menos que se haya controlado la situación de los nudos cuando se efectúa el montaje de las piezas o arcos, se hace necesario efectuar unos supuestos para estimar el factor I_n/I_t que a su vez, según hemos establecido anteriormente, nos permitirá determinar el coeficiente de resistencia. Una suposición muy conservadora es la que en cada sección crítica existe el nudo máximo admisible, y esto con las clases corrientes de madera es prácticamente imposible que ocurra.

Para la determinación de I_n/I_t existe un método estadístico que puede estudiarse en «Fabrication of Flued Laminated Wood», A. D. Freas y M. L. Selbo. Technical bulletin 1.069. U. S. D. A., página 172, que da unos coeficientes de resistencia aplicables a la pieza como un conjunto.

Otro procedimiento es el siguiente: Calcular el valor I_n/I_t , suponiendo que todas las láminas tienen el máximo nudo admisible en la sección crítica. Una vez hecho este cálculo multiplíquese ese valor por el coeficiente obtenido de la curva, que viene dado en función del número de láminas.

Cuando se supone que en cada lámina el nudo máximo

permitido está presente en cada lámina en la sección crítica, es evidente que

$$I_n/I_t = \frac{N}{b}$$

Cuando sean dos clases de maderas las que se empleen entonces tendremos:

Sea p la relación existente de láminas de grado

$$N_1$$

$$b_1$$

en cada lado de la línea neutra y el interior restante $(1-2p)$ esté constituido por láminas de grado

$$N_2$$

$$b_2$$

y el número total de láminas es de

$$I_n/I_t = \frac{N_1}{b_1} + \frac{N_2}{b_2} - \frac{N_1}{b_1} \quad 1-2p$$

Para más detalles sobre el mismo tema, consúltese el trabajo de Freas y Selbo, antes mencionado, pág. 109 y siguientes.

Naturalmente, los nudos pueden distribuirse cuidadosamente y hacerse una determinación exacta de la relación

$$I_n$$

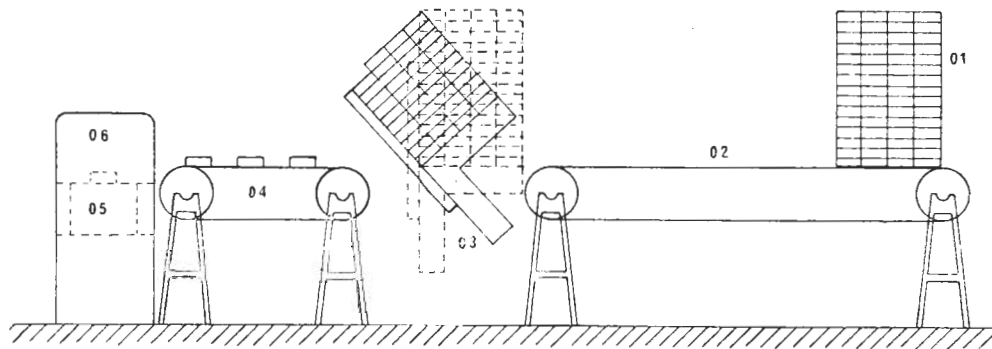
$$I_t$$

Flexiones axiales

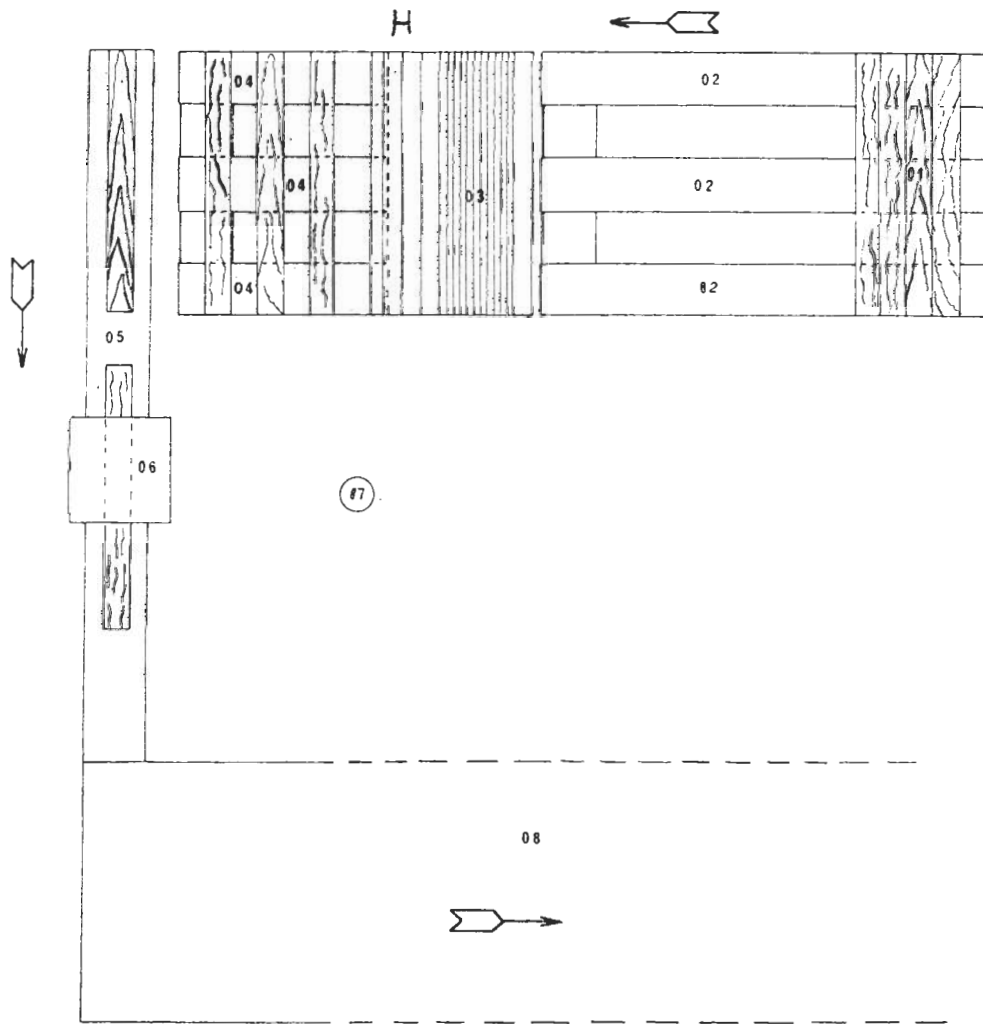
Igual que en el caso anterior, a menos que se

Gimnasio
en una
escuela
norteamericana.
De su amplitud
de idea el
hecho
de que
el recinto
comprende
cancha de
baloncesto.





SECCION DE PREPARACION DE TABLAS



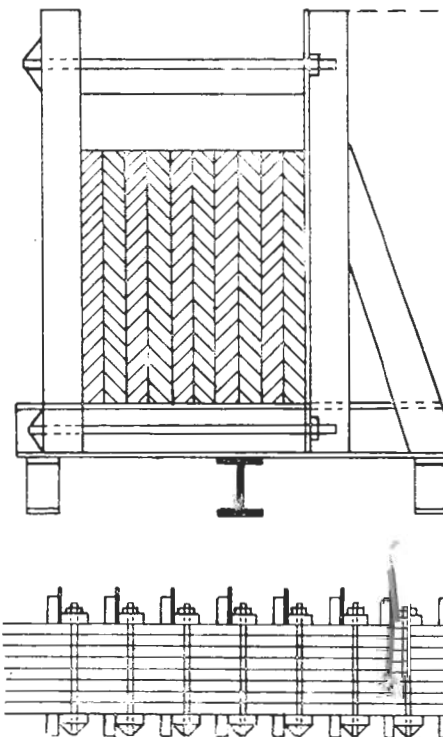
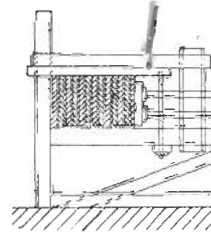
ESQUEMA DE TRABAJO
(LA...)

Croquis 1

01: Pila de madera.—02: Cintas transportadoras
03: Balancín de distribución.—04 y 05: Cinta tran-
de tablas.—06: Máquina cuatro caras.—07: Obrero
ción de marcha.

TIPOS DE...

Croquis 6



controla exactamente la distribución de los nudos, es necesario establecer algunos supuestos para el cálculo de este valor. Un supuesto conservador y de garantía es el de existencia de un nudo de la máxima dimensión que existe en cada metro de madera.

En este supuesto el factor n/b comprende un valor de

N igual a la dimensión del mayor nudo permitido en la clase de madera correspondiente.

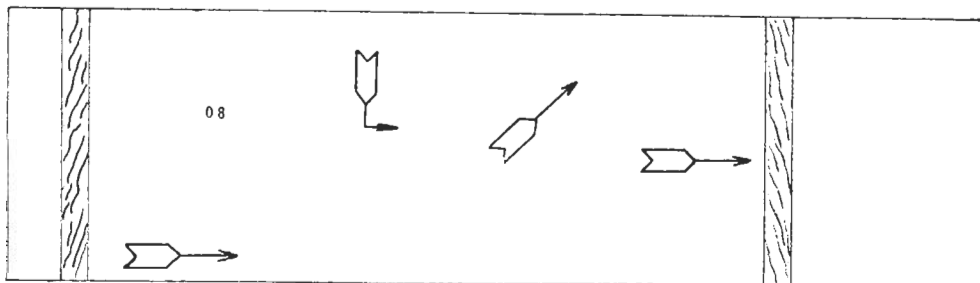
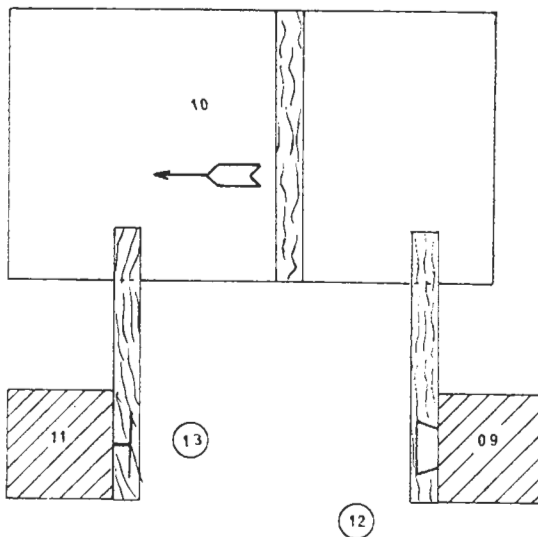
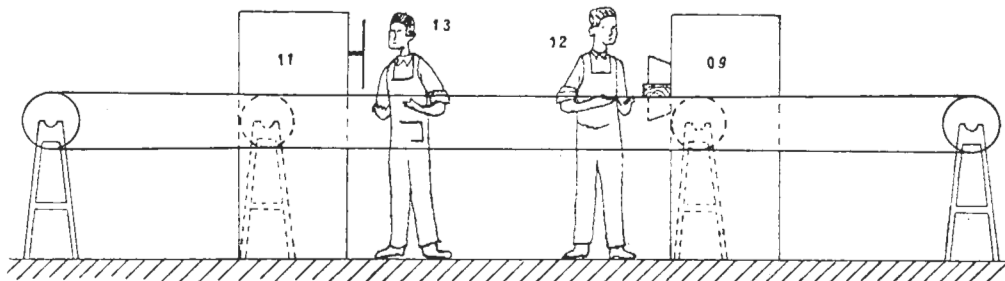
En el caso que se empleen maderas de diferentes clases debe utilizarse la tensión correspondiente a la clase inferior.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, la

ABAJO EN UNA INDUSTRIA DE MADERAS LAMINADAS (LAMINADO HORIZONTAL)

...ras de pila.—
transportadora
...ero de regula-

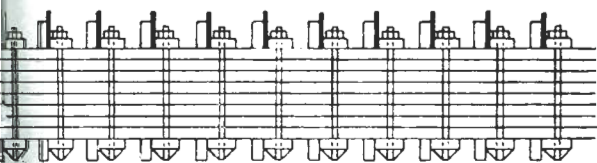
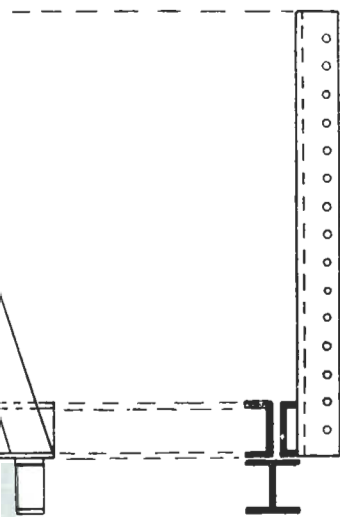
E SARGENTOS



SECCION DE CLASIFICACION

Croquis 2

08: Mesa clasificadora.—09: Máquina para retirar la madera defectuosa.—10: Cinta transportadora de madera defectuosa.—11: Sierra para eliminar los defectos.—12: Obrero para retirar la madera defectuosa.—13: Obrero que elimina los defectos.—14: Apilado de madera sin defectos.



elección de una carga de trabajo exige la consideración de los siguientes factores, efecto de los nudos, sesgo de la fibra, uniones de testa, altura de la viga y curvatura de las láminas. Las tensiones básicas multiplicadas por el factor más pequeño de los hallados, aplicando las distintas consideraciones anteriores nos permite establecer la

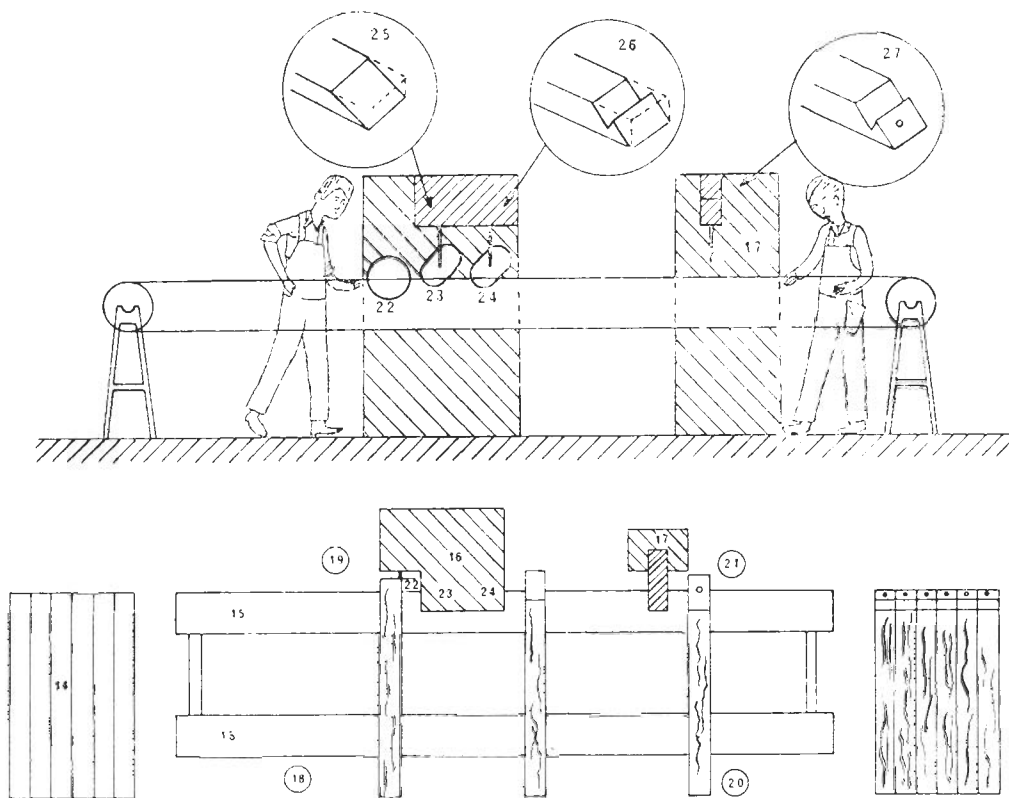
carga de trabajo para las piezas rectas. En el caso de que se trate de piezas curvas, el valor obtenido para las piezas rectas debe multiplicarse por el factor de curvatura.

Cuando se utilicen juntas de solapa o pico de flauta, con pendientes inferiores al 1 : 5, el momento de inercia total de la sección transversal de la viga es inútil para

Croquis 3

SECCION DE ENTALLADO

15: Cinta transportadora.—16: Máquina retestadora y entalladora. — 17: Máquina taladradora.—18: Obrero auxiliar.—19: Obrero de la máquina entalladora.—20: Obrero auxiliar.—21: Obrero de la taladradora.—22: Sierra de retestar.—23 y 24: Sierras entalladoras. 25: Tabla con primera entalladura.— 26: Tabla con segunda entalladura.— 27: Tabla con el taladro.



el proyecto. Por el contrario, si se utilizan juntas a tope, el momento de inercia debe reducirse en cada sección de la forma que se ha explicado anteriormente.

Los estudios hechos y los valores de I_n/I_s , deducidos estadísticamente, indican que en la mayoría de los casos la reducción del módulo de elasticidad básica es inferior al 5 por 100. No obstante, hemos de señalar que, en la mayoría de los casos, se obtiene una seguridad aceptable en el proyecto de piezas, tomando como bueno el módulo de elasticidad básico. Cuando la consideración de la flecha sea importante, debe tenerse en consideración la flecha debida a la duración de la carga.

Piezas curvas con secciones de gran altura

Según sabemos por Resistencia de Materiales, no se puede calcular, con fórmulas similares a las empleadas en piezas rectas, las piezas de gran curvatura trabajando a flexión. El error de los resultados obtenidos depende de la relación existente entre la altura de la pieza y el radio de la línea media, problema que, por otra parte, no se presenta en las piezas construidas con madera sólida que, generalmente, son de pequeña altura. Este error se refiere a la no distribución lineal de las tensiones en la sección de una pieza curva. En estos casos debe tomarse en consideración

los métodos aplicables a las piezas curvas para fijar si las fórmulas usuales en la ingeniería pueden o no aplicarse, sin error apreciable a la pieza curva de madera laminada con gran curvatura y altura.

Tracción axial

Deben de tomarse en consideración para la elección de cargas de trabajo los tres factores siguientes: efecto de los nudos, desvío de la fibra y juntas a tope. El factor de la máxima reducción es el que fija la carga de trabajo y no deben combinarse los tres factores.

Con las juntas de solapa de pendiente no superior a 1/5 debe considerarse la sección total como activa. En el caso de que se empleen juntas a tope, la sección transversal debe reducirse, de la forma que hemos dicho anteriormente, cuando hablemos de las juntas.

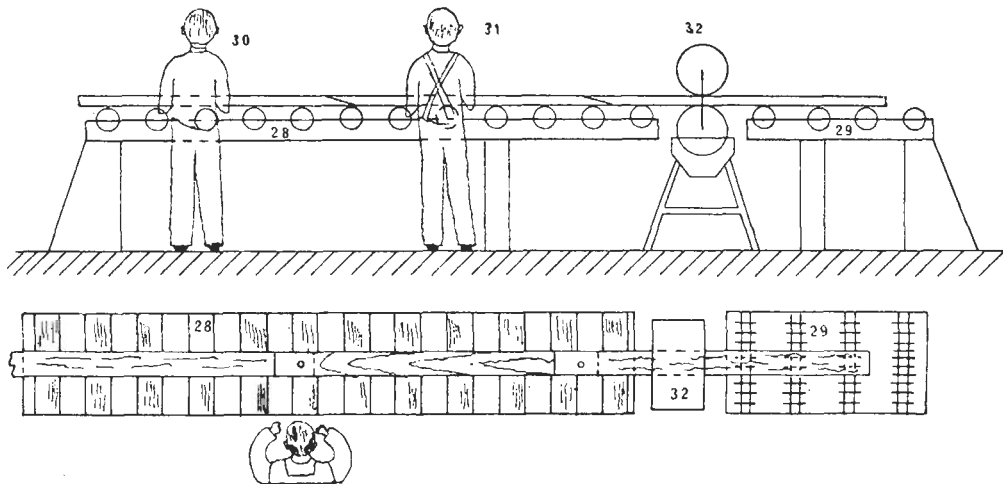
Columnas y pies derechos

Las fórmulas usualmente utilizadas para dimensionar columnas pueden utilizarse para el cálculo de columnas laminadas, bien sea para columnas cortas y largas. Para todas ellas deben tenerse en cuenta las consideraciones anteriormente expuestas para los diferentes tipos de uniones de testa, en la determinación de la sección transversal, realmente efectiva.

Croquis 4

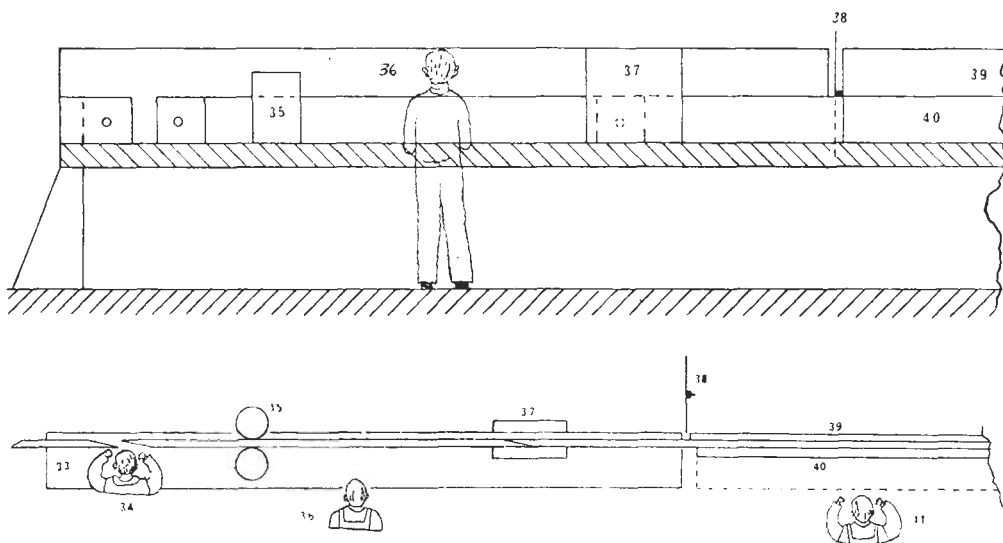
SECCION DE FORMACION DE LAMINAS Y ENCOLADO

28: Mesa de armado con rodillos macizos.—29: Mesa de transporte con rodillos de aletas.—30 y 31: Operarios.—32: Encoiadora.



Croquis 5

SECCION DE FORMACION DE LAMINAS Y ENCOLADO CON RADIO-FRECUENCIA



33: Armado de testas.—34: Obrero de armado de testas.—35: Rodillos motores para el movimiento de la madera.—36: Obrero de vigilancia.—37: Prensa de Radio-frecuencia.—38: Sierra para cortar en las dimensiones determinadas.—39: Espaldar fijo.—40: Puente abatible.—41: Obrero de carga.

IV. FABRICACION DE LA MADERA LAMINADA

La línea de fabricación comprende los siguientes puntos:

- 1.—Recepción y secado de la madera.
- 2.—Clasificación y almacenaje de la madera.
- 3.—Preparación de la madera.
- 4.—Entalladuras.
- 5.—Encolado.
- 6.—Puesta en presión.
- 7.—Terminado.
- 8.—Costes.

Generalmente la fabricación de madera laminada se hace a partir de madera aserrada que se compra directamente a los aserradores, aunque esto no es inconveniente para que pueda partirse en esta industria del propio aserrado. No obstante, en cualquier caso la instalación de un aserradero tiene unas caracte-

risticas tan peculiares que no puede entrar como fase dentro del proceso de fabricación de la madera laminada.

Las características de los secaderos y las condiciones de la instalación, marcha del secado y regulación del mismo son objeto de estudio en otra parte y, por consiguiente, no entraremos en el detalle del mismo.

Por consiguiente, referente a esta fase de la fabricación de madera laminada, la dejamos reducida a la necesidad de existencia de los siguientes elementos:

- 1.—Patio de apilado de madera.
- 2.—Instalación de secado.
- 3.—Almacén de madera seca.

El proyecto de cada uno de estos elementos ha de basarse en las siguientes consideraciones:

Patio de apilado.—Necesidad de materia prima y capacidad de secado.

En cuanto al material que se debe disponer es el siguiente:

Medidor de humedades, que, para esta primera recepción, puede ser del tipo eléctrico.

Aparatos o dispositivos mecánicos para mover la madera construída por plumas móviles o carretillas llevaderas.

Como las operaciones que hay que hacer son las de descarga, clasificación por especies y humedades y apilado en el patio, el personal debe graduarse en función de la cantidad de material recibido. Se debe hacer un muestreo por partidas y suministradores de un 5 por 100 para efectuar la clasificación por humedades.

Como norma orientadora se puede dar la siguiente: para mover un metro cúbico se necesitan 0,25 horas de obreros.

La instalación de secado.— El dimensionado de una instalación de secado en función de las necesidades anuales se estudia con todo detalle en el secado de la madera, así como las condiciones que debe reunir el secadero, la forma de llevar el secado y su control.

Clasificación y almacenaje de la madera.— La madera, una vez seca hasta unas determinadas condiciones de humedad con arreglo a su empleo, se apila sin rastreles, canto con canto y en un lugar protegido de las inclemencias del tiempo, aunque ventilado y con un poco de calefacción.

Para las operaciones posteriores con carretillas elevadoras, deben hacerse las pilas con los correspondientes paletes que favorecen su manipulación posterior.

El apilado debe hacerse clasificando la madera con arreglo a la especie y gruesos.

Preparación de la madera.—Cuanto llevamos dicho es similar en muchas industrias de elaboración de madera.

A partir de este momento es cuando empieza el proceso típico de esta industria (Croquis 1).

La madera apilada es tomada en cargas 01, por carretillas elevadoras, y se deposita en una cinta transportadora 02, que la lleva en su conjunto a una plataforma basculante 03. Por movimiento adecuado de ésta las tablas van deslizando, por capas, para irse depositando en otra cinta transportadora 04, por la que se transportan a la cinta de alimentación de la máquina cuatro caras 06.

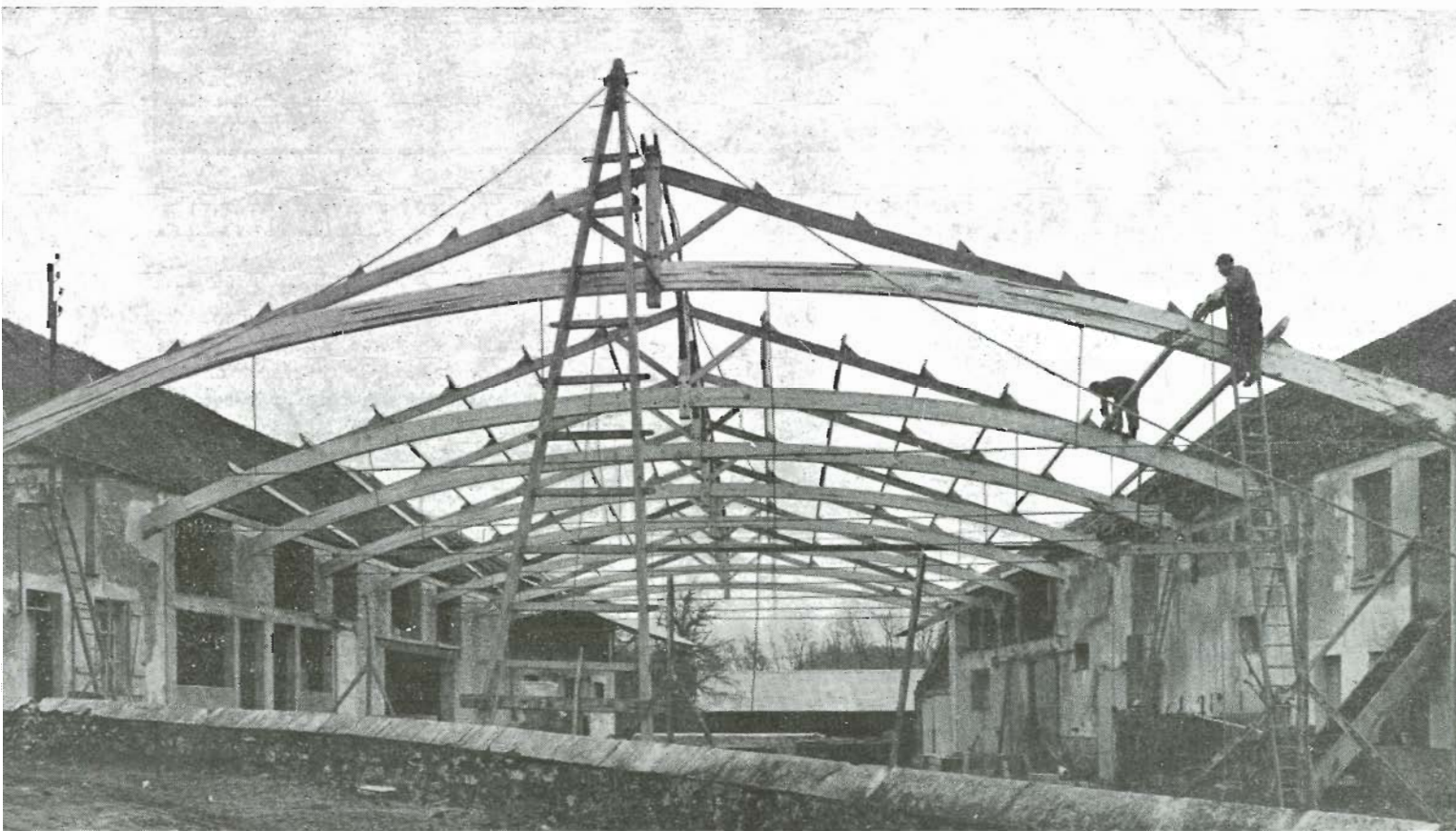
Esta máquina, de gran importancia en la preparación de la madera, tiene por objeto preparar, cepillando, las dos caras y dos cantos de la tabla.

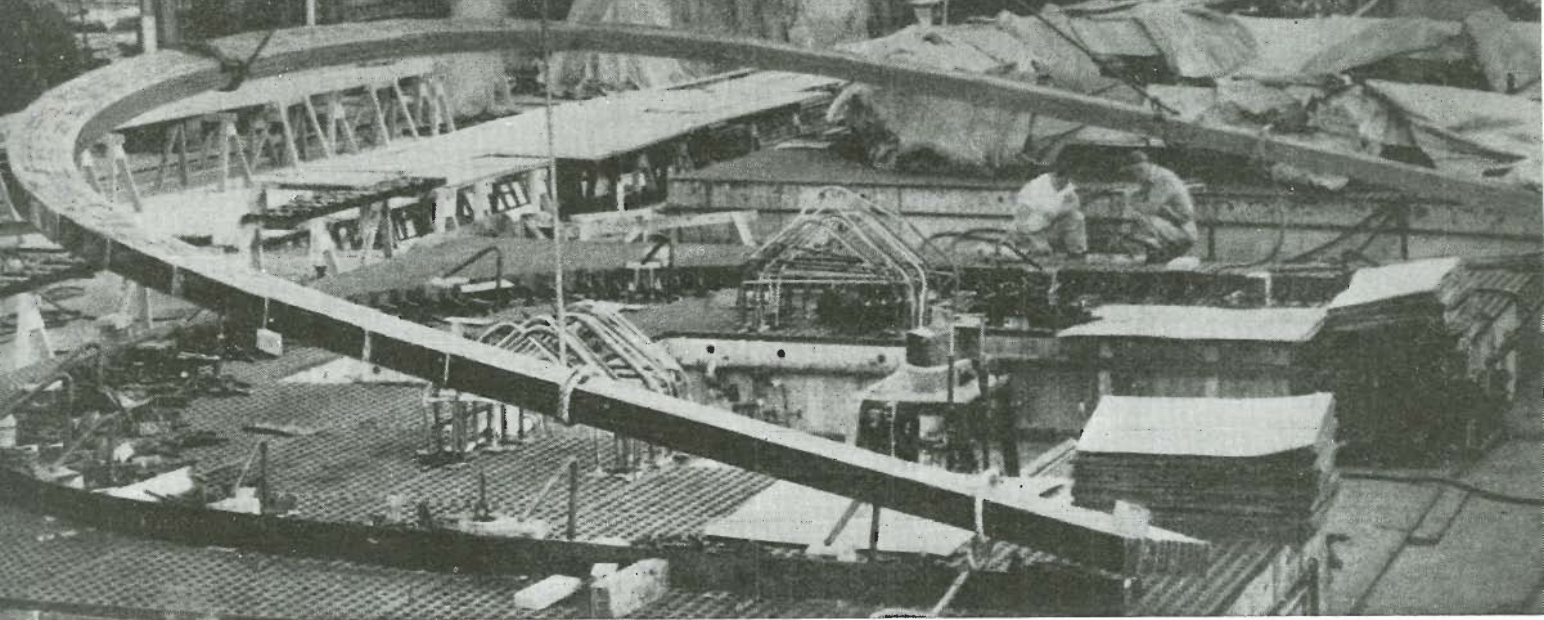
Esta máquina de cuatro caras aún no se fabrica en España y es fundamental, por su gran rendimiento y economía de operaciones.

A la salida de las cuatro caras existe un dispositivo de control de humedad de las piezas una por una. En el caso de que alguna tabla tuviese una humedad superior a la señalada, lo advierte y debe separarse ya de la línea de fabricación.

Esta sección, que, como hemos visto, prepara la madera especialmente en sus superficies para el encolado, está regulada totalmente por un obrero, que, mediante mandos adecuados, manipula el conjunto de las operaciones que hemos descrito.

De la máquina cuatro caras la madera pasa a la mesa clasificadora (Croquis 2). Es una mesa de cinta sinfín 08, que va transportando las tablas. Un obrero clasificador (12), de gran importancia en esta operación, situado al lado de una máquina agarradora (09), retira las tablas defectuo-





sas que por la máquina agarradora se deposita en otra cinta transportadora (10) de movimiento inverso a la anterior, que las lleva al alcance de otro obrero de la sección de clasificación (13), que, provisto con una sierra circular y mesa (11), elimina los defectos de la madera, por los que se le ha retirado de la mesa (08), volviéndola a colocar en la misma.

La madera que ha pasado la clasificación satisfactoriamente se descarga en unas carretillas (14), para ser llevada a la sección de entalladuras.

Entalladuras.—La operación siguiente es la de hacer las entalladuras en cantos y testas para el armado de láminas. Según hemos visto, las entalladuras de canto de cola de milano o machihembrado, no suponen una mejoría adecuada de las características de unión. Por ello generalmente no se suelen hacer, al suponer una operación más sin rendimiento positivo en las características mecánicas de la pieza laminada. En el caso de que quisieran hacerse habría que llevar las tablas a máquinas especiales para estas operaciones, machihembradas y cajeadoras.

Por lo anteriormente expuesto, únicamente hacemos referencia a la operación de hacer las entalladuras de testas y de ellas la de tipo de bisel, con diente, que es el tipo más corrientemente empleado (Croquis 3).

La sección de entallado, que generalmente está llevada por dos obreros (19) y (21) y dos obreros auxiliares de los anteriores (18) y (20).

La primera pareja de obreros (18) y (19) hacen, mediante una sierra vertical (22), las testas a arista viva, mientras que con las sierras inclinadas (23) y (24) preparan el bisel la primera y el diente la segunda.

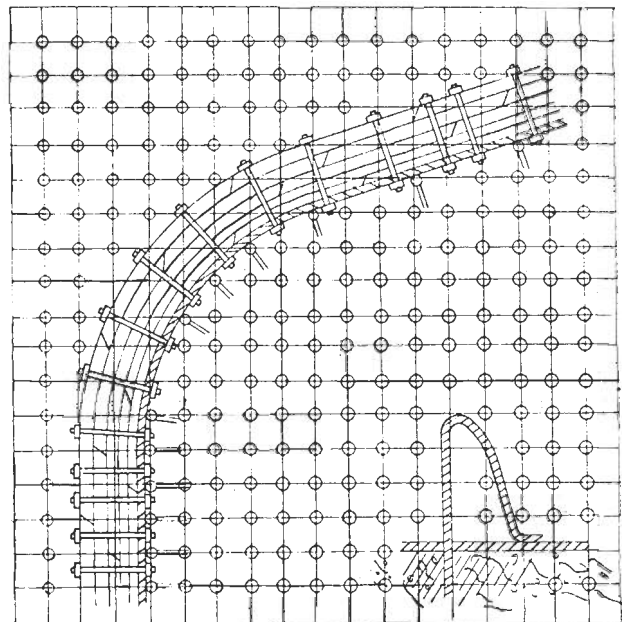
Una vez hecho el bisel y diente pasa a la siguiente pareja de obreros (20) y (21), que en la máquina taladradora (17) hacen un taladro donde encajará la clavija de armado de láminas.

Armado y encolado de láminas.— El armado de las láminas que constituyen la madera laminada, se puede hacer de cara (Croquis 3) o de canto (Croquis 4).

En el primer caso, sobre una mesa de rodillos (Croquis 3), número 28, dos obreros lo llevan a cabo. El primero de ellos (30) unta las testas con cola y el segundo (31) ensambla los bisels de las mismas, ajustando luego la clavija correspondiente. La cola empleada en esta operación debe ser de fraguado rápido. El conjunto así armado pasa luego por la encoladora de rodillos, que la untan de cola en las dos caras, quedando entonces preparada para el laminado.

La operación siguiente es el dimensionado de las láminas, que se efectúa en una mesa de rodillos con estrías profundas para evitar la pérdida de cola, y con una sierra de balancín movida a mano o automática según el dimensionado se haga de una forma o de otra.

En el armado de canto, la operación se lleva a cabo (croquis 5) en una mesa especial, por la que se desplaza la madera. La mesa tiene un espaldar alto y fijo que sirve de



EN BUSCA DE LA INDEFORMABILIDAD DE LOS MUEBLES

El Laboratorio de «Fourniture de Development Coucil», de Londres, ha hecho interesantes estudios sobre el problema de la rigidez de los muebles. Este problema no es nuevo, ya que se trata de aumentar la resistencia de una

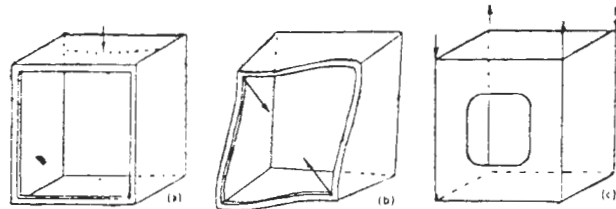


Fig. 1

construcción economizando materia prima. Pero si este problema ha encontrado diversas soluciones en varias aplicaciones: construcciones aeronáuticas, carrocerías de automóviles, puentes y otras diversas estructuras, ningún estu-

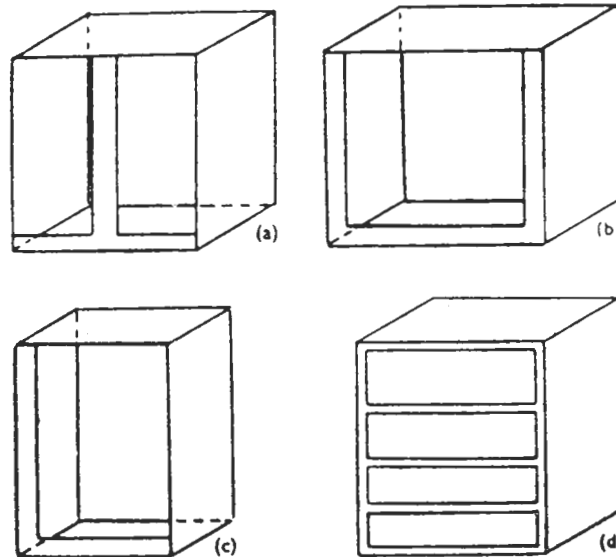


Fig. 2

dio sistemático se había realizado hasta la fecha respecto al mueble. Es un acierto del Laboratorio de «Fourniture de Development» haber realizado investigaciones, estableciendo principios y puesto a punto procedimientos que hoy están amparados por diversas patentes.

Un armario puede ser sistemáticamente representado por

apoyo (39) y un frente graduable para adaptarlo al espesor de la tabla con que se opere. Este frente (40) es abatible para facilitar la operación.

La forma de trabajo es la siguiente:

Un primer obrero (34) efectúa el encolado de los biselados, los ensambla y les coloca la clavija. Unos rodillos tractores cogen las piezas así preparadas y las transportan a lo largo de la mesa, pasándolo por entre los platos de una prensa de radio frecuencia (37) que produce el fraguado de la misma. La sierra circular móvil (38) dimensiona de forma adecuada las láminas, que posteriormente van a la mesa de encolado, análoga a la anteriormente, con unos primeros rodillos con dientes para facilitar el transporte antes de la encoladora y otros con estrías profundas, después de la encoladora, para evitar las pérdidas de cola.

De esta forma las láminas quedan convenientemente preparadas para el montaje de las piezas.

Montaje de las piezas.—El montaje de las piezas se hace de diferente manera, según rectas o curvas. En las primeras el dispositivo de montaje consta de una estructura formada por perfiles de hierro en I (croquis 6), contra los que aprietan los sargentos correspondientes, la estructura armada de madera.

Los sargentos están también formados por perfiles en I y la presión se da mediante unos tornillos. Naturalmente, la presión ha de graduarse a sentimiento, pues ya sabemos que este sistema de aplicar la presión no permite su medida exacta.

Para el montaje de piezas curvas hay que preparar una horma sobre las que aprietan los sargentos. El sistema de montaje es análogo al de piezas rectas y ha de hacerse lámina por lámina para irle dando la curvatura adecuada. Disponiéndose de dos tipos de sargentos, unos para irle dando la curvatura previa y otros para, mediante una distribución adecuada de presión, irle asentando sucesivamente en sus puestos.

El inconveniente que presenta este procedimiento es que hay que hacer una horma para cada tipo de piezas, inconveniente que se ha subsanado con lo que pudiéramos llamar patios cuadrículados de montaje.

Sobre el suelo de un patio (figura de la pág. 21) se fija una plancha metálica de 1 ó 2 cm. de grueso sobre la que se establece una cuadrícula cuyos vértices se taladran tanto la chapa metálica como la base de apoyo de la misma, que es de hormigón en masa.

Sobre esta cuadrícula se replantea, por puntos, la curva cuya forma quiere laminarse. De esta forma se determinan los puntos 1,2...10. En cada uno de los taladros se introducen las piezas cuyo detalle se adjunta. Estas piezas metálicas constituyen el apoyo de la pletina de acero *a*, a las que se fija, quedando así constituida la horma de apoyo, en la que por capas sucesivas se van moldeando las láminas de madera y contra la que apretarán los sargentos. Una vez conseguido el montaje se puede desmontar el conjunto, pudiéndose emplear la misma cuadrícula para cualquier tipo de montaje.

una caja de cinco lados que está sujeta a sufrir deformaciones, por ejemplo, en el caso de un desplazamiento.

La fuerza ejercida (fig. 1a) no altera la forma de la caja en su conjunto, pese al curvado de la parte superior. Las fuerzas ejercidas (fig. 1b) producen, por el contrario, una deformación general; cada uno de los cinco paneles se ha deformado y perdido su forma rectangular; los lados de la cara abierta se han curvado. Es fácil darse cuenta de estos fenómenos deformando una caja de cerillas.

Pero es suficiente poner la tapa de esta caja para impedir toda deformación. Una caja de seis caras es, pues, perfectamente rígida. Los paneles que constituyen las caras resisten más o menos según su espesor. Pero los ingenieros del laboratorio han comprobado que es suficiente asegurar la rigidez de una sola cara para obtener un volumen indeformable.

Supongamos que se practica una pequeña abertura en la 6.^a cara (fig. 1c); la resistencia de la caja es superior a la que tenía antes. La resistencia de una caja abierta construida con paneles delgados depende, pues, de la resistencia del cuadro de la cara abierta.

Varias soluciones se presentan entonces para reforzar esta cara: T invertida (fig. 2a), U (fig. 2b) y L (fig. 2c).

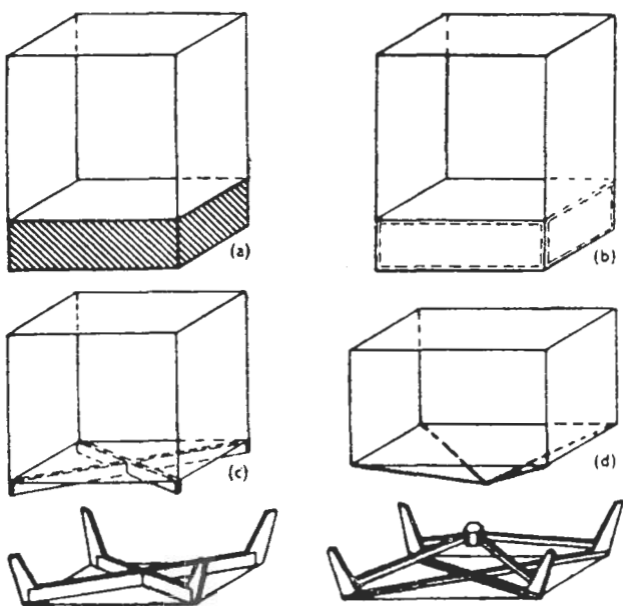


Fig. 3

La solución 2b es la adoptada para las cómodas, las guías de los cajones aseguran la rigidez del mueble.

Hemos visto que es suficiente asegurar la rigidez de una cara para hacer un mueble indeformable. La solución 3a de un panel muy grueso es prácticamente inutilizable. Pero es posible reemplazarlo por una caja completamente cerrada 3b indeformable. Una de las soluciones más sencillas y más eficaces consiste en reforzar la base del mueble por dos barrotes cruzados en diagonal 3c.

Por último, la solución del refuerzo piramidal 3d es todavía mejor, pero la fabricación es demasiado complicada para muebles en serie.