

La fabricación de la madera laminada encolada

José Antonio Tellechea, Ingeniero Técnico en Industrias de la Madera

Se describen las técnicas de fabricación de la madera laminada encolada y el esquema general del proceso producido, desde la preparación de las materias primas hasta el acabado final. Una tecnología consolidada desde hace 40 años.

Desde principios de los años ochenta el uso de la madera laminada encolada como elemento estructural ha experimentado un desarrollo notable en nuestro país.

En 1967 encontramos la estructura de madera laminada encolada mas antigua realizada en España.

En esta fecha ya estamos hablando de un material de estructura consolidado, con referencias técnicas importantes.

Las primeras realizaciones con luces del entorno de 70 metros se encuentran en los Estados Unidos de América, ejecutadas durante la década de los 50.

La competición hacia luces superiores no sigue una progresión lineal, evoluciona por intervalos sucesivos, discontinuos.

Durante 1962 se realiza en Europa una estructura de 90 metros de luz, el estadio nacional de deportes de Joinville, Francia.

En el periodo de 1963 a 1965 asistimos a dos récords consecutivos con luces de 100 metros, certificando la supremacía europea en la evolución de la técnica de la madera laminada encolada. Estas realizaciones son el mercado cubierto de Gante (Fig. 1), en Bélgica y la feria de muestras de Tours, Francia.

Señalaremos que el récord de luz absoluto a nivel mundial en estructura de madera, se realizó con la cimbra provisional para la construcción del puente de Plougastel, sobre el río Elorn, en la Bretaña francesa (Fig. 2).

Esta obra destinada a la construcción de 3 arcos de hormigón de 186,4 metros de luz entre ejes de apoyos se realizó en 1927 con viga celosía de madera maciza.

Los empujes sobre los apoyos alcanzaban las 280 toneladas bajo peso propio y 2000 toneladas sometida a carga. Esta estructura excepcional, cuya luz y capacidad de transmitir esfuerzos todavía no ha sido igualada en madera de cual-

quier tipo, hay que situarla en un contexto modesto de técnica y medios.

En la actualidad es posible alcanzar, por capacidad de producción y cálculo, luces del entorno de los 200 metros con estructura de madera laminada encolada.

Las limitaciones del material en cuanto a luz máxima vienen condicionadas por la dificultad de ejecución de las juntas necesarias para su transporte. Este es el campo actual de investigación.

TECNICA DE FABRICACION

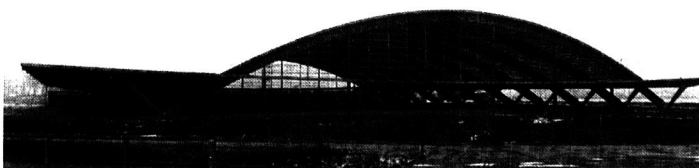
El concepto de la madera laminada encolada es de fácil intuición. Se trata de crear elementos de grandes longitudes y escuadrías a partir de tablas de madera de sección comercial encolándolas entre sí.

La génesis del concepto se sitúa en Suiza, a finales del siglo XIX. Otto Hetzer realiza los primeros encolados a base de cola caseína. Este procedimiento no tuvo la expansión comercial prevista por dos razones:

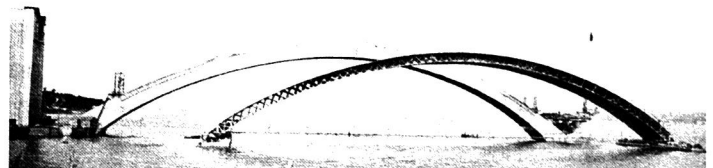
- las colas disponibles en la época no permitían la realización de piezas con escuadrías significativamente mayores que las que se podían obtener por aserrado tradicional.
- el coste del sistema empleado no era competitivo.

En el desarrollo de microlaminados en madera para la aeronáutica militar en la segunda guerra mundial y su extrapolación industrial para la fabricación de estructuras en Estados Unidos, se sitúa el nacimiento de la madera laminada encolada tal y como la conocemos en la actualidad.

A pesar de la simplicidad del concepto, la dificultad se



2. Mercado Cubierto de Gante, Bélgica.



2. Puente de Plougastel.

encuentra en su fabricación.

Para conseguir realizaciones conforme a normativa con costes competitivos es necesario realizar inversiones importantes.

El equipamiento en sí mismo no es complejo, la sucesión de las gamas de fabricación parece elemental. Sin embargo la maquinaria a emplear es, por sus dimensiones, potencia y capacidad, específica a la fabricación de madera laminada.

Cada fase del proceso, por sencilla que parezca, debe ejecutarse sin margen de error para no comprometer la calidad final del producto.

Nos proponemos describir a continuación el proceso de fabricación de la madera laminada encolada. La planta de una fábrica tipo completará el artículo. (Fig.3).

ESQUEMA DEL PROCESO PRODUCTIVO

La fabricación de elementos de madera laminada encolada integra tres fases diferenciadas:

1.- Preparación de las materias primas.

1.1.- Preparación de la madera.

1.1.1.- Almacenaje de larga duración al aire libre.

1.1.2.- Secado.

1.1.3.- Cepillado y retestado con entalladura múltiple.

1.2.- Preparación de la cola.

1.2.1.- Almacenaje de las colas.

1.2.2.- Puesta en fabricación (mezcla con reactivo y dosificación).

2.- Ejecución de piezas en bruto.

2.1.- Unión en testas de las laminas.(Fig.4).

2.2.- Cepillado de las laminas.

2.3.- Encolado.

2.4.- Apilado de las laminas que constituyen una pieza contra la cimbra.

2.5.- Presión (Fig.5).

2.6.- Polimerización de la cola.

2.7.- Estabilización de la pieza.

3.- Acabado.

3.1.- Cepillado.

3.2.- Talla y corte de la pieza a su dimensión de puesta en obra.

3.3.- Taladros y entalladuras.

3.4.- Hidrofugación.

3.5.- Tratamiento insecticida y fungicida, con acabado de tono.

3.6.- Fijación de elementos metálicos.

3.7.- Almacenaje para expedición.

En paralelo a la línea de fabricación se dispone un taller de herrajes y almacén de ferretería que completan los componentes de la estructura.

Por último es necesaria una instalación de calefacción y de acondicionamiento de atmósfera donde distinguimos:

- Un depósito de subproductos de madera (serrín, viruta, trozos de corte) que alimentan una caldera mixta.

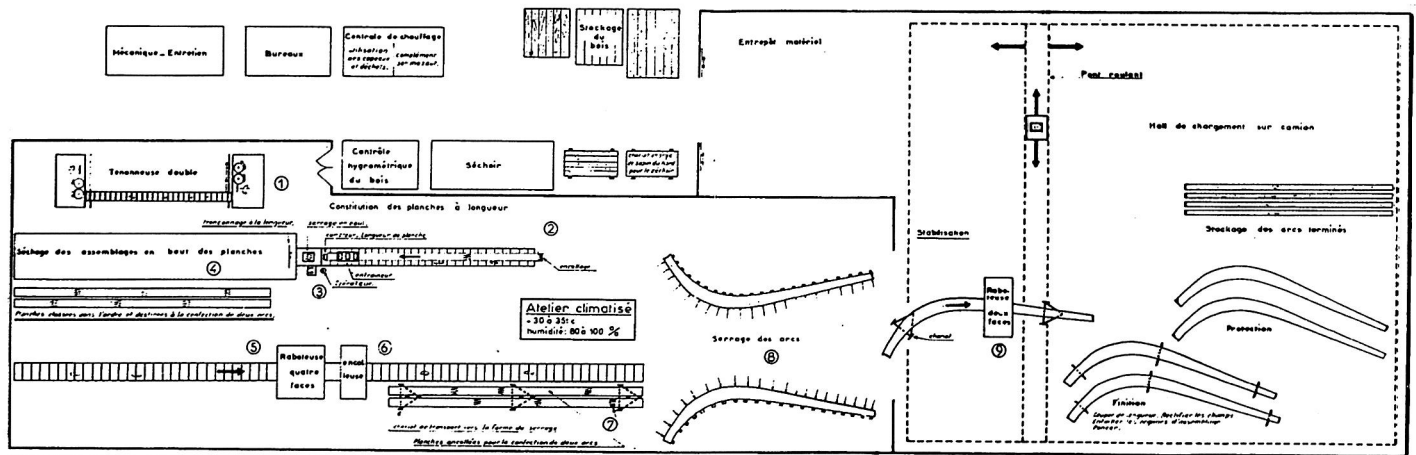
- Almacén de combustible complementario y grupo electrogéneo.

- Sala de calderas.

Estudiamos a continuación cada uno de los elementos esenciales para una fabricación de estas características.

DESARROLLO DE LAS FASES

1.- Preparación de las materias primas.



3. Planta de fabricación.

1.1.- Preparación de la madera.

1.1.1.- Almacenaje de larga duración al aire libre.

La fabricación de estructuras de madera laminada encolada necesita un almacén de madera importante. Los aprovisionamientos suelen realizarse por grandes cantidades (el consumo diario puede ser, para una industria significativa, del orden de 60 metros cúbicos). Dejar la madera al aire libre para un secado natural de la misma antes de su paso por secadero mejora su estabilidad a la vez que aumenta la capacidad del horno de secado.

1.1.2.- Secado.

Las maderas deben tener un contenido de agua que se sitúe dentro de los límites aptos para su encolado. Las colas permiten una horquilla de humedad del soporte bastante amplia, con un máximo del 15 %. Sin embargo el porcentaje de humedad debe ser uniforme en todo el lote de madera empleado. El secado artificial de la madera nos permite alcanzar este grado de precisión.

Las maderas permanecen en el secadero aproximadamente 12 horas. A su salida, el grado de humedad se verifica sistemáticamente. La madera pasa a una sala de estabilización donde reposa un mínimo de 4 días con el fin de conseguir un equilibrio riguroso en su grado de humedad, que vuelve a ser controlado para su lanzamiento en fabricación.

1.1.3.- Cepillado y retestado con entalladura múltiple. (Puesto 1 en la planta de fabricación). (Fig.4)

En esta fase las laminas se examinan una a una; eliminando los defectos de la madera fuera de tolerancia. Los extremos de las tablas presentan con frecuencia fendas, y precisan de un entallado múltiple para ser encoladas y ensambladas en testa una con otra.

Estas dos operaciones se realizan en un solo paso de máquina con un cabezal doble.

1.2.- Preparación de las colas.

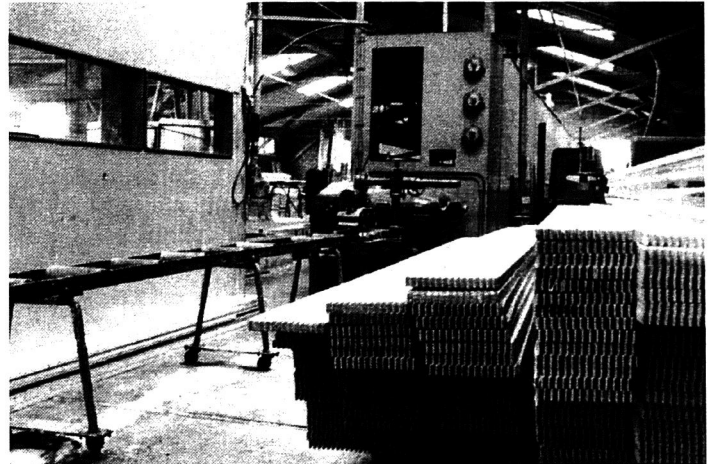
1.2.1.- Almacenaje de las colas.

La manipulación y almacenaje de las colas deben ser las indicadas por el fabricante en cuanto a las siguientes variables:

- Temperatura.
- Hidrometría del aire.
- Estanqueidad del embalaje.

1.2.2.- Puesta en fabricación (mezcla con reactivo y dosificación).

Las colas se preparan en un laboratorio aislado, a la temperatura conveniente. En el se encuentran los recipientes, báscula de precisión, viscosímetros, prensa destinada a ruptura de las probetas y un autoclave para simulación de envejecimiento de las mismas. La mezcla de la cola con el



4. Retestado de las láminas.

endurecedor se realiza al final del circuito.

2.- Ejecución de piezas en bruto.

2.1.- Unión en testas de las láminas. (Puestos 2,3 y 4 en la planta de fabricación).

Las láminas llevan en sus extremos unas entalladuras múltiples que, tras su encolado, se enlazan entre sí. Estas entalladuras cumplen una doble función:

- Aseguran una correcta transmisión de los esfuerzos aumentando la resistencia de la madera.

- Evitan la desconexión por deslizamiento relativo de las piezas.

Está reconocida como la mejor unión posible la de diente de sierra. (Fig.4).

Estas láminas formadas por una sucesión longitudinal de tablas unidas por las testas, de longitud igual a la pieza que se desea obtener; se dejan en reposo con el fin de permitir la soldadura química de sus juntas.

Precisaremos que la cola empleada para la unión de las testas puede ser distinta a la empleada para la unión de las láminas entre sí.

2.2.- Cepillado de las láminas. (Puesto 5 en la planta de fabricación).

Esta operación tiene como objetivo calibrar el espesor de las láminas, conseguir planos perfectos en las superficies a encolar y eliminar la suciedad y las células oxidadas de la superficie que pudiesen disminuir la adherencia entre si al aplicar la cola. En la actualidad la mayoría de las empresas utilizan cepilladoras 4 caras de alta velocidad.

2.3.- Encolado. (Puesto 6 en la planta de fabricación).

Las láminas que han sido cepilladas pasan en continuo por un peine de encolado que deposita en una de sus caras la cantidad de cola necesaria para su unión. Los gramos de cola por unidad de superficie son controlados en tiempo real. El exceso de cola es eliminado de forma instantánea.

La cola empleada para la realización de piezas estructurales es la resorcina, originando la característica junta oscura de la madera laminada encolada. Por razones estéticas puede emplearse cola de urea-formol (junta blanca) en elementos de carpintería.

La tracción transversal en junta de encolado se limita a:

- 5 bares para las colas de urea-formol y caseína.
- 6 bares para la cola resorcina.

2.4.- Apilado de las láminas que constituyen una pieza en el molde de prensado. (puesto 7 en la planta de fabr.).

La lámina encolada por una de sus caras se superpone a la anterior (la cara sin cola sobre la superficie encolada de la precedente) hasta constituir la pieza completa que se desea fabricar.

2.5.- Presión (Fig.5). (Puesto 8 en la planta de fabricación).

La pieza formada por la sucesión de láminas encoladas superpuestas se coloca en el molde de presión, siendo empujada contra él. En general, los moldes pueden recibir varias piezas en paralelo, pero la presión se aplica por separado a cada una de ellas, o a cada par si son de la misma sección. Los moldes son fácilmente desplazables y, una vez que han adoptado la forma de la plantilla de la pieza, se fijan al suelo de la nave.

Existen varios sistemas para realizar la fijación del molde según plantilla:

- Mediante una estructura de madera solidaria al suelo del taller.

- Con ayuda de escuadras metálicas móviles que se deslizan sobre raíles anclados a la superficie de la nave.

- Mediante soldadura de elementos metálicos a bandas de hierro ancladas en la solera.

La aplicación de las piezas sobre el molde se puede realizar con ayuda de máquinas móviles capaces de ejercer una presión elevada sobre las piezas o con ayuda de pesos suspendidos a puentes grúa.

La aplicación de la presión en la pieza se obtiene con la ayuda de numerosos bulones separados entre sí a una distancia de aproximadamente 30 cm.

La presión a obtener es del orden de 10 kg. por centímetro cuadrado de junta. La presión se aplica comenzando en

el centro de la pieza y progresando con simetría hacia los extremos.

El conjunto de estas operaciones se realizan con rapidez. Las juntas de encolado deben someterse a presión en un plazo máximo de una hora desde la aplicación de la cola. La presión se aplica a los bulones por medio de llaves de choque neumáticas.

2.6.- Polimerización de la cola.

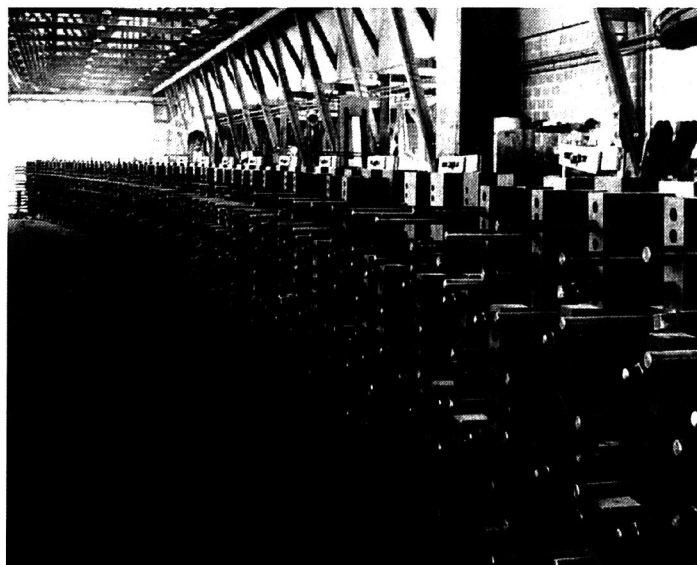
La presión debe permanecer constante durante la polimerización de la cola. Es necesario controlar la presión con llaves dinamométricas en esta fase. Algunos dispositivos con resortes aseguran por sí mismos el mantenimiento de esta presión.

Con frecuencia la presión de las láminas sobre el molde se complementa con un reglaje transversal de las piezas apiladas que facilitan el posterior trabajo de acabado de las mismas. Esta operación se realiza con la ayuda de una prensa neumática móvil.

2.7.- Estabilización de la pieza.

Tras el endurecimiento completo de las juntas de encolado, las piezas son almacenadas en la nave de acabado, climatizada como la anterior y separadas con el fin de no enviar partículas de madera (serrín y viruta) que pueden penalizar la calidad del encolado.

La duración de esta fase es inversamente proporcional al radio de curvatura de la pieza. Su objetivo es permitir la estabilización de la junta de encolado tras su polimerización y detener las variaciones dimensionales que pudiese haber en la pieza por retorno de las fibras de las láminas.



5. Arcos de 35 metros sometidos a presión.

3.- Acabado

3.1.- Cepillado. (Puesto 9 en la planta de fabricación).

El encolado deja una superficie lateral en la viga con gotas de cola. Su dureza es incompatible con el afilado de las cuchillas de la cepilladora. Es conveniente eliminarlas antes de pasarlas por el cepillado con el fin de obtener un acabado perfecto. Las cepilladoras actuales de 2 caras permiten el paso de piezas superiores a 2 metros de canto. En el caso de tener piezas de canto superior a la anchura de la cepilladora, es factible realizar un doble cepillado. 2 cabezales a la salida de la maquina aseguran el cepillado de las dos caras restantes.

3.2.- Talla y corte de la pieza a su dimensión de puesta en obra.

Las piezas brutas se preparan siempre con un exceso de longitud sobre la pieza terminada. Para concluir la pieza es necesario eliminar este exceso y dar a los extremos su forma definitiva.

3.3.- Taladros y entalladuras.

Las vigas deberán recibir en obra elementos metálicos, bulones, arandelas dentadas y demás elementos necesarios para su ensamble. Estos taladros y entalladuras deben ser precisos, y en fabrica se realizan en las mejores condiciones.

3.4.- Hidrofugación.

Durante el transporte y el montaje la estructura puede aumentar su grado de humedad debido a los agentes atmosféricos. Esta circunstancia se puede paliar con ayuda de diferentes productos líquidos aplicados en su superficie.

3.5.- Tratamiento insecticida y fungicida, con acabado de tono.

A menudo esta fase se realiza al mismo tiempo que la anterior. Los productos empleados, actuando a poro abierto, permiten completar el acabado de la estructura y dar el tono deseado a la pieza de madera laminada encolada.

3.6.- Fijación de elementos metálicos.

Los herrajes que no perjudiquen a las piezas durante el transporte se fijan en fabrica con el fin de facilitar el trabajo de montaje en obra.

3.7.- Almacenaje para expedición.

Este almacenaje se puede realizar al aire libre, las piezas ya están protegidas en su superficie. Con frecuencia las empresas disponen de soportes que permiten reducir la superfi-

cie ocupada por el producto terminado. Hay que evitar durante esta fase de espera antes de su expedición definitiva someter a las piezas a esfuerzos anormales, así como durante su transporte y puesta en obra.

La fabricación de los elementos de madera laminada encolada se completa con su montaje en obra. Los métodos empleados son similares a los de otros tipos de estructura, destacando como principales diferencias:

- Mayor necesidad de arriostramientos provisionales.
- Poco margen de error en los apoyos por incapacidad de suplementar la estructura.
- Un menor tiempo de ejecución.
- Medios de elevación reducidos por la ligereza del material.

CONCLUSION

La planta de fabricación descrita pudiera situarse en 1960. El proceso no ha variado significativamente desde entonces.

Los encolados por alta frecuencia pueden ser la innovación mas significativa, sin embargo han sido adoptados en raras ocasiones dentro de la industria de la madera laminada encolada. Suponen una inversión considerable y no aportan mejoras en la resistencia de las piezas ni en la capacidad de producción de elementos con perfiles curvos, tan presentes en este tipo de estructuras.

La idea que se desprende de esta conclusión puede causar sorpresa en un entorno sin tradición constructiva con madera laminada, una tecnología consolidada desde hace ya 40 años.

Las realizaciones mas destacadas llevan soportando con éxito las acciones de la naturaleza durante todo este periodo, con un nivel de obsolescencia mínimo.

Este hecho servirá para confirmar a todos aquellos profesionales de la arquitectura que en momentos de mas sombras que luces confiaron sus estructuras a un material que ha sabido estar a la altura de su decisión.