



0005953

INFORME TECNICO N.º 18

AGOSTO 1965



BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

C.2

ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA

Estudio Preliminar



INFOR

INSTITUTO FORESTAL

SANTIAGO - CHILE

S-3296



INFORME TECNICO N.º 18

AGOSTO 1965

C.1

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA

Estudio Preliminar

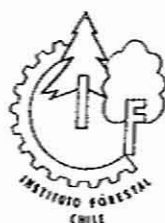
Preparado por:
 Dr. Erkki Niskanen: Consultor de la FAO.
 Reino Mäkeläinen: Consultor de la FAO.
 Traducido y adaptado por:
 Arnoldo Icekson F. Ingeniero Civil.
 Germán Tamm J. Técnico Mecánico.

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

INSTITUTO FORESTAL

SANTIAGO - CHILE





EL INSTITUTO FORESTAL es un proyecto del Gobierno de Chile con la asistencia del Fondo Especial y la FAO de las Naciones Unidas para el desarrollo de los recursos e industrias forestales.

Direcciones del
INSTITUTO FORESTAL
Oficinas : Belgrado 11
Casilla : N° 3085
Teléfono: N° 380333
Santiago - Chile

I N D I C E

	Página
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCION.....	3
2. LAS ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA.....	4
2.1. Breve reseña histórica.....	4
2.2. Tipos principales de estructuras.....	5
2.3. Ventajas de las estructuras de madera laminada.....	11
2.4. Encolados.....	12
2.5. Problemas de diseño.....	13
3. LA FABRICACION DE ESTRUCTURAS LAMINADAS.....	20
3.1. Generalidades.....	20
3.2. Instalaciones máquinas y equipos necesarios para la fabricación.....	20
3.3. Adhesivos.....	22
3.4. Consideraciones sobre el personal técnico.....	22
3.5. Marcos en los elementos de madera laminada.....	23
3.6. Control de calidad de la fabricación.....	23
4. PROPOSICION DE ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE CONSTRUCCIONES DE MADERA LAMINADA.....	24
4.1. Disposiciones generales.....	24
4.2. Requisitos estructurales.....	27
4.3. Verificación de tensiones.....	30
5. PROPOSICION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD PARA ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA.....	32
5.1. Generalidades.....	32
5.2. Consejo o Junta de Laminación.....	32
5.3. Limitaciones.....	33
5.4. Solicitud de ingreso al sistema de control de calidad.....	33
5.5. Personal de la planta.....	34
5.6. Condiciones existentes en la planta.....	35
5.7. Equipo de fabricación.....	35
5.8. Control de calidad.....	36
5.9. Modificación de estas reglas.....	37
6. CALCULOS DE VIGAS RECTAS DE MADERA LAMINADA.....	37
7. CALCULO DE UN MARCO TRIARTICULADO DE MADERA LAMINADA.....	41
8. CALCULO DE UN MARCO TRIARTICULADO DE MADERA LAMINADA CON PENDIENTE DE TECHO FUERTE (MARCO TUDOR).....	46
8.1. Generalidades.....	46
8.2. Solicitaciones.....	47
8.3. Diseño.....	52

	Página
9. USO DE MADERA LAMINADA EN LA CONSTRUCCION DE BARCOS.....	55
9.1. Generalidades.....	55
9.2. Reglamento internacional sobre el uso de madera lamina- da en la construcción de barcos.....	55
9.3. Elementos estructurales que se prefabrican con madera la- minada.....	55
9.4. La madera y su tratamiento.....	56
9.5. Adhesivos.....	56
9.6. Equipo necesario para la laminación y organización del taller.....	57
9.7. Fabricación.....	58
9.8. Control de fabricación.....	60
9.9. Consideraciones económicas.....	61
9.10 Apéndice.....	62
10. APLICACION DE MADERA LAMINADA EN LA CONSTRUCCION DE BARCOS DE CHILE.....	63
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LOS ASESORES.....	64



RESUMEN

Durante marzo y abril de 1964 se construyeron las estructuras de madera laminada para el edificio del aserradero experimental de la Universidad Técnica del Estado en Concepción. El edificio tendrá 12 metros de luz, 6 metros de altura y 45 metros de largo y estará compuesto por doce metros triarticulados. Se utilizó madera de pino insigne de 1 x 6 pulgadas secada al 12% de humedad y adhesivo de caseína - CASCO 1115- que fue importado.

Se prepararon cálculos y diseños para tres tipos de estructuras: Vigas rectas, marcos triarticulados y marcos triarticulados con pendiente fuerte de techo.

Se proponen especificaciones de diseño para construcciones de madera laminada, un sistema de control de calidad para las mismas y se analizan las posibilidades de aplicación de estas estructuras en la construcción de barcos.

A raíz de las experiencias realizadas, se infiere que el pino insigne se presta admirablemente para las construcciones de madera laminada, tanto en el aspecto técnico como en el arquitectónico. De la breve experiencia obtenida se desprende que las estructuras de madera laminada pueden competir favorablemente con las estructuras de concreto o de acero, especialmente en edificios de gran luz. Su introducción en el país es factible y debe ser acompañada de un sistema adecuado de control de calidad, para asegurar su correcta construcción y aplicación.



1. INTRODUCCION.

Con el propósito de introducir en el país nuevas aplicaciones para la madera, el Instituto Forestal ha realizado la primera construcción científicamente controlada en Chile de una estructura de madera laminada.

La técnica de laminar madera ha sido utilizada durante muchos años en la fabricación de muebles, partes de pianos, artículos deportivos y otros productos; sin embargo, su aplicación en estructuras es relativamente reciente, aún cuando empezó en Europa en 1909. Actualmente, las estructuras de madera laminada constituyen un importante elemento de construcción, especialmente para edificios de gran luz y aptas para una extensa gama de aplicaciones que permiten la creación de estructuras estéticamente agradables, que dan grandes posibilidades de diseño arquitectónico y buena construcción.

Para iniciar y desarrollar estos trabajos, el Instituto Forestal contó con la colaboración de dos consultores finlandeses contratados por la FAO, los señores Reino Mäkeläinen y Erkki Niskanen.

El Sr. Reino Mäkeläinen es Gerente de Producción de "Laivateollisuus Oy" de Turku, Finlandia, firma especializada en la construcción de estructuras de madera laminada y reconocida por ser el mayor astillero de Europa que fabrica barcos de madera.

La misión del Sr. Mäkeläinen en el país consistió en dirigir, en los talleres de la Sociedad Agrícola y Forestal Copihue S.A. de Talca, los trabajos de construcción de las estructuras laminadas destinadas a un edificio industrial para la Universidad Técnica del Estado en Concepción. En esta labor fue secundado por el Sr. Germán Tamm, técnico del Instituto Forestal. Los capítulos 3, 9 y 10 fueron preparados por el Sr. Mäkeläinen.

El Dr. Erkki Niskanen es profesor del Instituto Tecnológico de Helsinki, Finlandia y tuvo a su cargo los cálculos y las especificaciones de estas estructuras. El Dr. Niskanen preparó los capítulos 2, 4, 5 y en los capítulos 6, 7, 8 fue secundado por los ingenieros civiles Sres. Alejandro Echeverría y Antonio González, del IDIEM, Universidad de Chile y DICTUC, Universidad Católica, respectivamente.

Esta publicación es una recopilación de los trabajos y recomenda-

ciones de los especialistas mencionados.

Consideramos un deber dejar constancia de nuestros agradecimientos a la Universidad de Chile, a la Universidad Católica y a la Sociedad Agrícola y Forestal Copihue S.A., sin cuyo valioso concurso estos trabajos no hubieran sido posibles.

2. LAS ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA.

2.1. Breve reseña histórica.

La primera estructura de madera laminada encolada fue erigida por Hetzer en Suiza en el año 1909. En consecuencia, este método de construcción no puede ser considerado como un desarrollo reciente. Estas estructuras se han hecho muy populares, especialmente en Norteamérica, donde pasaron a constituir un importante material de construcción durante la II Guerra Mundial. La primera estructura de madera laminada en los Estados Unidos fue erigida en el año 1934. Se trata de un edificio construido para el Laboratorio de Productos Forestales, en Madison, constituido en su parte estructural por marcos triarticulados (arcos tipo Tudor). Este ejemplo de EE.UU. señala, especialmente en edificios de gran luz, que la madera laminada y encolada constituye un importante material de construcción, mediante el cual se puede obtener una extensa gama de aplicaciones, creando estructuras bien construidas y estéticamente agradables.

Durante la II Guerra Mundial los alemanes desarrollaron una nueva arma, la mina magnética, la cual originó a su vez el barreminas de casco de madera, desarrollado por los americanos. Su quilla, cuadernas y una gran parte de los otros elementos estructurales se hacían de encina (oak) laminada. En vista de las severas condiciones de exposición a que estaban sometidas las juntas encoladas durante su servicio en el océano, fue necesario emplear colas a prueba de agua.

La fabricación de estos cascos de madera encolados con resina ha continuado a un ritmo creciente después del término de la guerra. Por ejemplo una parte de las indemnizaciones de guerra pagadas por Finlandia a la

Unión Soviética estuvo constituida por barcos construidos con madera laminada. En 1952 se terminaron de pagar las compensaciones de guerra; sin embargo la industria de barcos de madera laminada ha continuado activa hasta el momento, aunque en menor escala.

Se hizo necesario entonces dirigir la alta capacidad de los astilleros finlandeses hacia otros productos nuevos. Las vigas, arcos y estructuras de madera laminada ofrecían una posibilidad natural para utilizar las fábricas, equipos y obreros especializados en un nuevo propósito. En esta forma, el desarrollo en Finlandia ha sido casi similar al ocurrido en EE.UU.

En otros países de Europa, como Suecia, Noruega, Holanda, Alemania Bélgica, etc. la producción de vigas de madera laminada y encolada empezó en forma espontánea. Por ejemplo, la Compañía Töreboda de Suecia empezó a fabricar vigas, marcos estructuras y arcos de madera laminada, hace ya cerca de 40 años. Es posible que ésta sea la fábrica más antigua de madera laminada del mundo.

La caseína en su forma actual fue introducida alrededor del año 1900, el fenol-formaldehido en 1912 y el resorcinol-formaldehido en 1943. La urea-formaldehido fue introducida el año 1930, pero no se la usó en forma extensiva hasta la II Guerra Mundial.

2.2. Tipos principales de estructuras.

2.2.1. Vigas. La viga recta de sección uniforme, fabricada de acuerdo al procedimiento de laminación, es la más barata de producir, independiente de la forma de la sección transversal, sea ésta rectangular o tipo I. Este último tipo ha sido estudiado y también usado en la práctica, especialmente en Alemania, aún cuando, debido a ciertas desventajas en la fabricación de una viga I hecha de madera, la viga de sección uniforme es más popular en EE.UU y Canadá.

Las vigas de momento de inercia variable son muy adecuadas para vigas maestras de salas de clase y, además, ofrecen la ventaja de ser muy atractivas desde el punto de vista arquitectónico. Vale la pena mencionar que se ha hecho uso de la madera laminada en la materialización de las vigas principales de algunos puentes. En Canadá, por ejemplo, un puente de 18 me-

tros de luz tiene vigas principales hechas de madera laminada con una sección transversal de 12 pulgadas por 50 pulgadas;(Fig. 1, 2, 3).

2.2.2. Arcos. La gran ventaja que ofrece el encolado para este tipo de estructuras es que hace posible la construcción de arcos muy eficientes, partiendo de laminaciones delgadas. Existen en todo el mundo y especialmente en Estados Unidos, numerosos ejemplos de diferentes tipos de arcos de madera laminada. Por ejemplo, en países importadores de madera, como Dinamarca, Bélgica y Holanda, el arco de madera laminada es una solución arquitectónica muy usual. Hace algunos años, la construcción más grande en arcos de madera laminada era el Jai-Alai-Club en West Palm Beach, Florida. Sus 12 arcos tienen una longitud de 102 metros, su luz es de 74 metros y la parte más alta tiene 24 metros sobre el nivel del suelo. La altura de la sección transversal del arco, en el punto de mayor esfuerzo es de 46 pulgadas, en sus fundaciones tiene 25 pulgadas y en la parte superior 20 pulgadas. Actualmente existen en los EE. UU. construcciones de arcos con luz de aproximadamente 100 metros;(Fig. 4.)

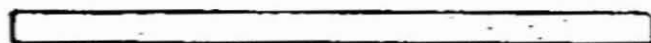
Tomando en consideración la dificultad de transporte que presentan estos arcos de gran peso, es preferible tratar de diseñar las grandes unidades como arcos triarticulados, cuyas dos partes constitutivas son de más fácil transporte que un arco entero biarticulado;(Fig. 5.)

Muy frecuentemente, cuando la luz es considerable, es necesario descomponer el arco en 3 o 4 partes. De acuerdo con la experiencia finlandesa, las juntas de tope hechas con la ayuda de planchas de acero, pernos y conectores, son relativamente caras;(Fig. 6.)

La cercha de cuerda superior arqueada (Bowstring-truss) es probablemente una de las más económicas de todas las estructuras de madera laminada;(Fig. 7.)

Para cargas uniformes, el arco parabólico es teóricamente el más económico, puesto que sólo se producen esfuerzos normales y no se necesitaría introducir diagonales. Sin embargo, con cargas asimétricas se producen momentos flectores, por lo que las diagonales se hacen necesarias para reducir las secciones de la cuerda superior, la que generalmente se hace como un segmento de arco circular por facilidad de construcción. Para cubrir

FIG. 1.



VIGA RECTA.

FIG. 2.



VIGAS DE SECCION VARIABLE



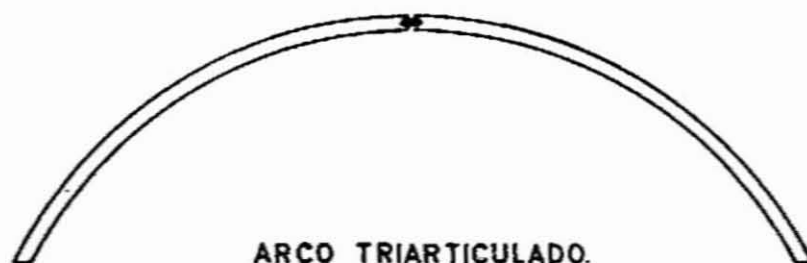
FIG. 3.

FIG. 4.



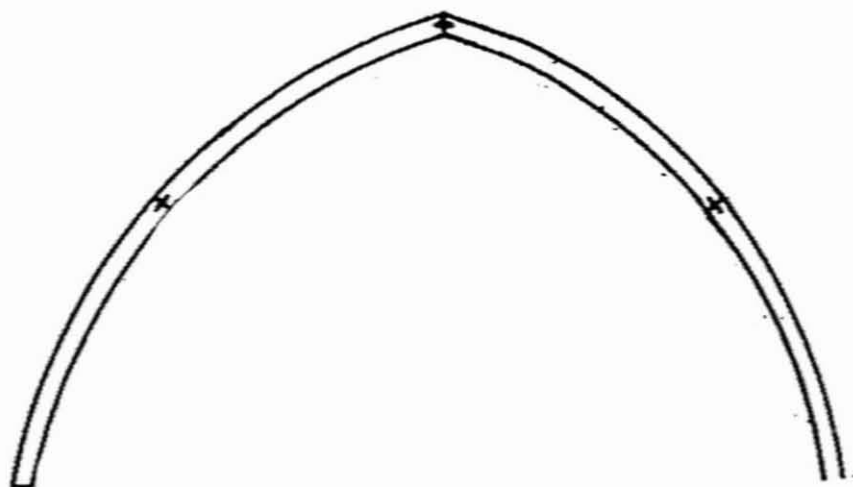
ARCO BIARTICULADO.

FIG. 5.



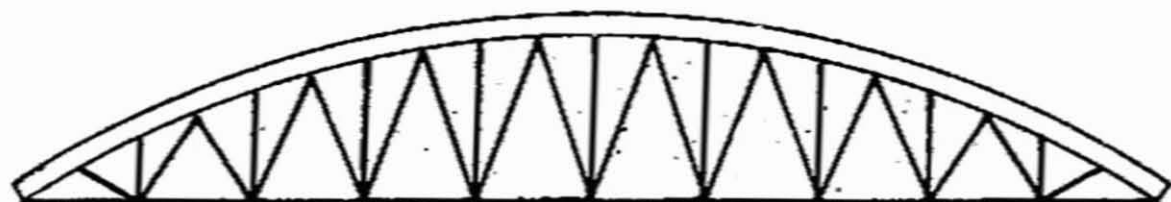
ARCO TRIARTICULADO.

FIG. 6.



ARCO DE 4 SECCIONES.

FIG. 7.



CERCHA DE CUERDA SUPERIOR ARQUEADA.
(BOWSTRING-TRUSS).



grandes luces, las cerchas de cuerda superior arqueada son especialmente ventajosas. En este caso, las diagonales y montantes son largos y si no se dispone de madera aserrada de la longitud requerida, estos elementos deberán hacerse laminados, encareciendo de esta manera este tipo de solución estructural.

Los galpones laminados triarticulados para usos agrícolas han ganado popularidad en algunos países; en EE.UU. ciertos tamaños standard se fabrican en escala industrial. El precio de estos galpones agrícolas triarticulados, calculados en base a los metros cúbicos de madera utilizados, es naturalmente más alto que el de aquellos construidos de madera aserrada; sin embargo, estos arcos son económicos debido a que son estéticamente ventajosos. Por otra parte, este tipo de edificios puede construirse muy rápidamente con operarios sin experiencia. La mayor carga sobre un edificio de almacenamiento de este tipo es la carga producida por la acción del viento. Recientes investigaciones han demostrado que una estructura de madera está, sin embargo, en mejores condiciones para soportar este tipo de carga que una estructura de acero. Sobre este punto se volverá más adelante; (Fig. 8.)

2.2.3. Marcos. El marco triarticulado constituye una aplicación de la madera laminada, que es muy atractiva desde el punto de vista arquitectónico. Es, por supuesto, corrientemente más caro que un arco, debido a que el marco rígido tiene que tomar mayores esfuerzos de flexión, esfuerzos que son comparativamente pequeños en los arcos. Debido a razones arquitectónicas es muy probable que el marco triarticulado de madera laminada mantenga siempre su popularidad; (Fig. 9) Es ideal para utilizarlo en iglesias. En los países anglosajones este tipo de marco triarticulado para iglesias es llamado corrientemente marco Tudor; (Fig. 10.) En este último caso debe darse especial importancia al peligro de pandeo lateral cuando se diseña la estructura.

Un marco rígido que es ensamblado parcialmente mediante clavos y además encolado, llamado construcción HB, ha ganado popularidad en Suecia, Finlandia y varios otros países.



2.3. Ventajas de las estructuras de madera laminada.

Los puntos débiles de una estructura de madera han sido siempre las uniones o juntas, las que comúnmente determinan las dimensiones de los miembros de una determinada estructura. El diseño de las juntas de las cerchas deja a todos los elementos sometidos a esfuerzos axiales con fatigas considerablemente menores que las permitidas. Esto, obviamente, significa una pérdida de madera que puede ser evitada en parte, por ejemplo, mediante el uso de arcos o marcos de madera laminada y encolada, los cuales no requieren el uso de conectores metálicos, con excepción de las rótulas. Sin embargo, habrá que considerar que el copillado de las estructuras laminadas constituye una pérdida de madera.

En maderas aserradas o sólidas, las rajaduras perpendiculares al lado plano de las tablas son comunes e influyen fuertemente en la resistencia al cizalle. Esta razón incide en que se permita sólo una pequeña fatiga al cizalle en las especificaciones de diseño para estructuras de madera. Es muy posible que se permitan fatigas de cizalle considerablemente mayores en vigas de madera laminada. Más adelante mencionaremos mayores detalles al respecto.

Debe tenerse presente, además, el siguiente aspecto de importancia: un 70% de la altura central de la sección transversal de una viga de madera laminada puede estar constituida por madera blanda y nudosa sin que, prácticamente, se reduzca su resistencia. Solememente se requiere un 30% de madera de alta calidad en las fibras exteriores.

Una viga de madera laminada se quema en forma muy lenta en un incendio y, contrariamente a lo que pueda creerse, las distintas capas encoladas no son destruidas por el calor, razón por la cual no se produce una pérdida apreciable en la resistencia de la viga.

Es del caso mencionar que esto no es válido para la resina de polivinilo. En los EE.UU., las Compañías de Seguros consideran en términos más favorables las construcciones pesadas de madera que las construcciones de acero sin protección.

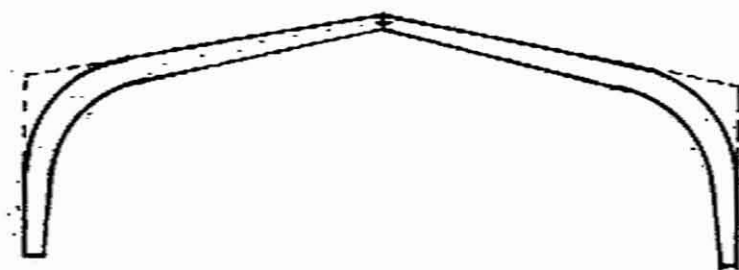
De acuerdo a pruebas realizadas en Finlandia, el fuego penetra en

FIG. 8.



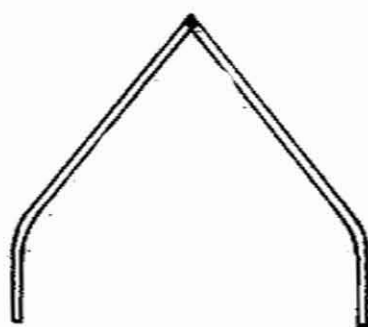
ARCO TRIARTICULADO
PARA USO AGRICOLA.

FIG. 9.



MARCO TRIARTICULADO.

FIG. 10.



MARCO TUDOR



el *Pinus sylvestris* a razón de 35 mm por hora aproximadamente (en un incendio verdadero es de 30 hasta 50 % de este valor). En este aspecto debe destacarse que no se permite el encolado de lamelas previamente tratadas con preservativos que las hagan resistentes al fuego.

Una gran ventaja de las vigas laminadas de madera es que en su fabricación se utiliza madera de tamaño normal, sin que exista mayor problema con su largo. En el caso de vigas rectas de gran longitud es indispensable considerar una contra-flecha, puesto que de otra manera la deflexión del elemento podría afectar su aspecto exterior. Obviamente, no existe mayor dificultad en proporcionar esta contra-flecha durante las operaciones de encolado.

Las ventajas del comportamiento de las vigas de madera laminada ante los efectos sísmicos son bastante conocidos. Las construcciones de madera son livianas y por lo tanto el efecto sísmico no es tan peligroso como en las construcciones de ladrillo. En California, las escuelas se construyen con madera laminada, justamente debido al problema de los sismos.

2.4. Encolados.

El prejuicio que existía contra las estructuras de madera laminada ha cedido lugar a una gran confianza desde antes de la II Guerra Mundial. Esto se debe principalmente a las excelentes colas que se han logrado obtener y al alto nivel actual de práctica en las faenas de encolado. Este éxito ha sido alcanzado con la ayuda de un gran número de experimentos y con una gradual acumulación de los resultados de estas experiencias.

2.4.1. Control de humedad. Uno de los puntos más importantes, y que exige gran preocupación, es el acondicionamiento de la madera, antes de su laminación, de acuerdo con las condiciones a que estará expuesta en servicio. También debe brindarse especial atención al contenido de humedad de la madera que permita un mayor éxito durante el procedimiento de encolado. Por ejemplo, las especificaciones de EE. UU. y Canadá recomiendan un contenido de humedad de la madera de 7 a 16 %.

Las especificaciones canadienses recomiendan contenidos de humedad comprendidos entre 8 y 10 % para las construcciones interiores y entre 12 y

15 % para construcciones exteriores. En las antiguas especificaciones finlandesas aparecían reglas muy detalladas para diferentes contenidos de humedad, pero en las nuevas se acepta la regla abreviada de todas las especificaciones escandinavas; el contenido de humedad de la madera antes del encolado debe ser inferior al 16 % y tan cerca como sea posible del contenido de humedad que la construcción alcanzará en uso.

Un aspecto muy importante que debe considerarse es el de la variación del contenido de humedad entre las diferentes lamelas de un mismo elemento, el cual no debe diferir del promedio en más de un $2\frac{1}{2}$ %. Esta regla se ha establecido con el fin de prevenir el desarrollo de esfuerzos secundarios en la viga laminada.

2.4.2. Adhesivos. La elección del adhesivo depende fundamentalmente del grado de exposición a la intemperie a que el elemento estará sometido. Tanto el resorcinol-formaldehído, el fenol-formaldehído, como la melamina-formaldehído, son aptos para todas las condiciones posibles. En la práctica se ha utilizado preferentemente el resorcinol-formaldehído debido a su bajo precio. Aún más, éste no requiere la aplicación de altas temperaturas durante el tiempo de prensado. El uso de caseína y urea-formaldehído es apropiado siempre que los elementos no se mojen, por ejemplo, en condiciones interiores, cuando existe suficiente calefacción durante los períodos de humedad y buena ventilación. En Santiago es posible usar caseína sin calefacción.

El uso de urea-formaldehído es conveniente en condiciones tales, que aseguren a lo sumo un contacto eventual con agua o también en condiciones en que se produzca una exposición severa al agua, pero de muy corta duración.

2.5. Problemas de diseño.

2.5.1. Fatigas admisibles y módulos de elasticidad. Un gran número de investigadores han trabajado y muchos están trabajando para encontrar la respuesta a la pregunta: "¿Hasta qué grado una viga de madera laminada tiene mayor resistencia y rigidez que una viga de madera sólida?"

Se puede considerar como algo establecido que se puede usar madera de baja calidad para una viga de madera laminada y obtener un diseño que sa-

tisfaga los requisitos de resistencia de primer orden, siempre que las láminas exteriores estén constituidas por madera de primera calidad. De acuerdo con los experimentos realizados por el laboratorio de Tecnología de la Madera de Finlandia, se pueden aplicar las propiedades de resistencia de primer orden, aún cuando solamente un 15 % de la parte superior y un 15 % de la parte inferior de la viga sean madera de primera calidad.

El aumento del módulo de elasticidad obtenido de esta manera es muy útil, puesto que la luz de las vigas de madera laminada es generalmente muy grande y, en este caso, el diseño puede ser regido por consideraciones de deformaciones admisibles y no por las fatigas admisibles. Si el número de lamelas es suficiente, parece justificarse aumentar el módulo de elasticidad en aproximadamente 20.000 kg/cm^2 para vigas laminadas. A este resultado ha llegado el profesor Johannes Moe, de Trondheim, Noruega, quien realizó sus experiencias hace aproximadamente tres años. Este aumento del módulo de elasticidad no se debe solamente al uso de lamelas clasificadas según su resistencia para las porciones superiores e inferiores de la viga, sino, principalmente, debido al efecto de rigidez producido por la laminación. Basado en los experimentos recién mencionados y en muchas otras investigaciones, el Comité Escandinavo para las Especificaciones de Diseño de Estructuras de Madera ha aceptado los siguientes factores que pueden aplicarse sobre las fatigas admisibles en el diseño de vigas, arcos, marcos y otros elementos de madera laminada:

Clasificación por resistencia	I	II	III
Flexión, Tracción y Comprensión	1,2	1,3	1,4
Cizalle	1,2	1,2	1,2
Módulo de elasticidad por Flexión	1,2	1,2	1,2

El hecho de tener coeficientes de amplificación mayores para la madera de clase inferior es perfectamente explicable. Es difícil incrementar por medio de la laminación las propiedades de resistencia de la madera de I clase; sin embargo, la laminación tiene efectos muy ventajosos en la

madera de III clase, porque los grandes nudos y otros defectos pueden espaciarse a lo largo de la pieza.

Estos coeficientes de amplificación que corresponden a los usados en los códigos escandinavos pueden ser muy altos para las condiciones chilenas. Mientras no se cuenta con ensayos detallados sobre las propiedades de resistencia mecánica del pino insigne, será aconsejable utilizar coeficientes de amplificación menores.

El aumento de la fatiga de cizalle en 20% puede ser demasiado prudente. En Finlandia y Noruega se están llevando a cabo mayores experiencias sobre esta materia. En efecto, los ensayos de resistencia al cizalle de madera sólida y de uniones encoladas están estrechamente relacionadas, debido a que los métodos, tanto matemáticos como experimentales, son similares en ambos casos. Este campo de estudio ofrece enormes posibilidades a matemáticos y especialistas en teoría de la elasticidad. El único comentario al respecto es el siguiente: si consideramos la resistencia al cizalle de las probetas de madera encolada para distintos valores de la razón altura/espesor y las distribuciones de la fatiga de cizalle determinadas mediante cálculos basados en la teoría de la elasticidad bajo la suposición de isotropía, nos enfrentaremos a una evidente contradicción. Si, en cambio, se toma en cuenta la anisotropía de la madera, se obtiene una nueva equivalencia entre la teoría y los valores experimentales.

2,5.2.Reducción en elementos curvos. Es perfectamente razonable suponer que las laminaciones curvadas, por haber sido tensionadas antes de materializarse la unión encolada, sean algo más débiles y hayan perdido aún parte de su rigidez. En cierta medida, esto es efectivo, pero a pesar de esta fatiga inicial, la pérdida de resistencia y rigidez es insignificante, si la razón entre el espesor de la lamela (t) y su radio de curvatura (R) es menor que aproximadamente 1:150.

De acuerdo con las especificaciones de diseño norteamericanas, la reducción establecida para la resistencia a la flexión es próxima al 10%, lo que se puede estimar con ayuda de la fórmula siguiente, contenida en estas especificaciones:

$$K_R = 1 - 2.000 \left(\frac{t}{R}\right)^2$$

El Comité Escandinavo ha aceptado una fórmula que da una reducción menor. Este coeficiente de reducción, debido a la curvatura, es realmente muy pequeño, como puede verse a partir de las fórmulas conocidas,

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{EI}{R} = M$$

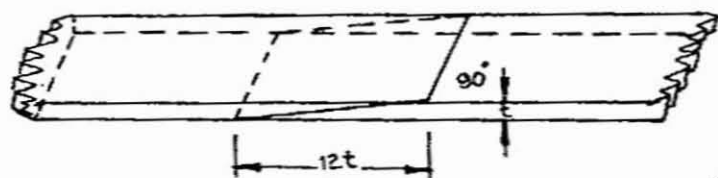
$$\sigma = \frac{eM}{I} \quad (e=t/2)$$

$$\sigma = \frac{Et}{2}$$

Si se supone que el módulo de elasticidad (E) es igual a 100.000 kg/cm² y que t/r = 1/150, obtenemos $\sigma = 333$ kg/cm². Este valor es muy elevado debido a que las tablas con nudos se romperán con toda seguridad si el esfuerzo de flexión fuera tan alto. En los países escandinavos se acepta generalmente t/r = 150 y para laminaciones muy delgadas (t = 1 cm) se puede llegar hasta valores del orden de t/r = 1/100. Para el pino insigne chileno sería más razonable tomar t/r = 1/200 provisoriamente, mientras se espera resultados definitivos provenientes de experiencias serias.

2.5.3. Juntas o ensambles. De los diversos tipos de juntas de los extremos de las lamelas, en estructuras de madera laminada, se utiliza generalmente el llamado empalme en chaflán. En los elementos traccionados o en la zona de tracción de las vigas laminadas, la inclinación del chaflán en un empalme de este tipo, de acuerdo con las especificaciones norteamericanas y canadienses, debe ser por lo menos de 1:12, con el fin de permitir un 90% de efectividad (Fig. 11). De acuerdo con la antigua norma finlandesa y la proposición para las especificaciones de todos los países escandinavos, se acepta una inclinación de 1:10 sin reducción de la resistencia, aún cuando las especificaciones norteamericanas y canadienses indican un 85% de efectividad para tales empalmes. Las inclinaciones de 1:10 y 1:5 se pueden usar solamente en el lado de compresión. Se podrían utilizar también inclinaciones de hasta 1:5 en la zona de tracción, pero en este caso deben hacerse tales reducciones en la resistencia, que conducen a soluciones antieconómicas (Fig. 12).

FIG 11



JUNTA ACHAFLANADA SIMPLE

FIG 12

VIGA LAMINADA HORIZONTALMENTE

ZONA DE COMPRESION

ZONA DE TRACCION

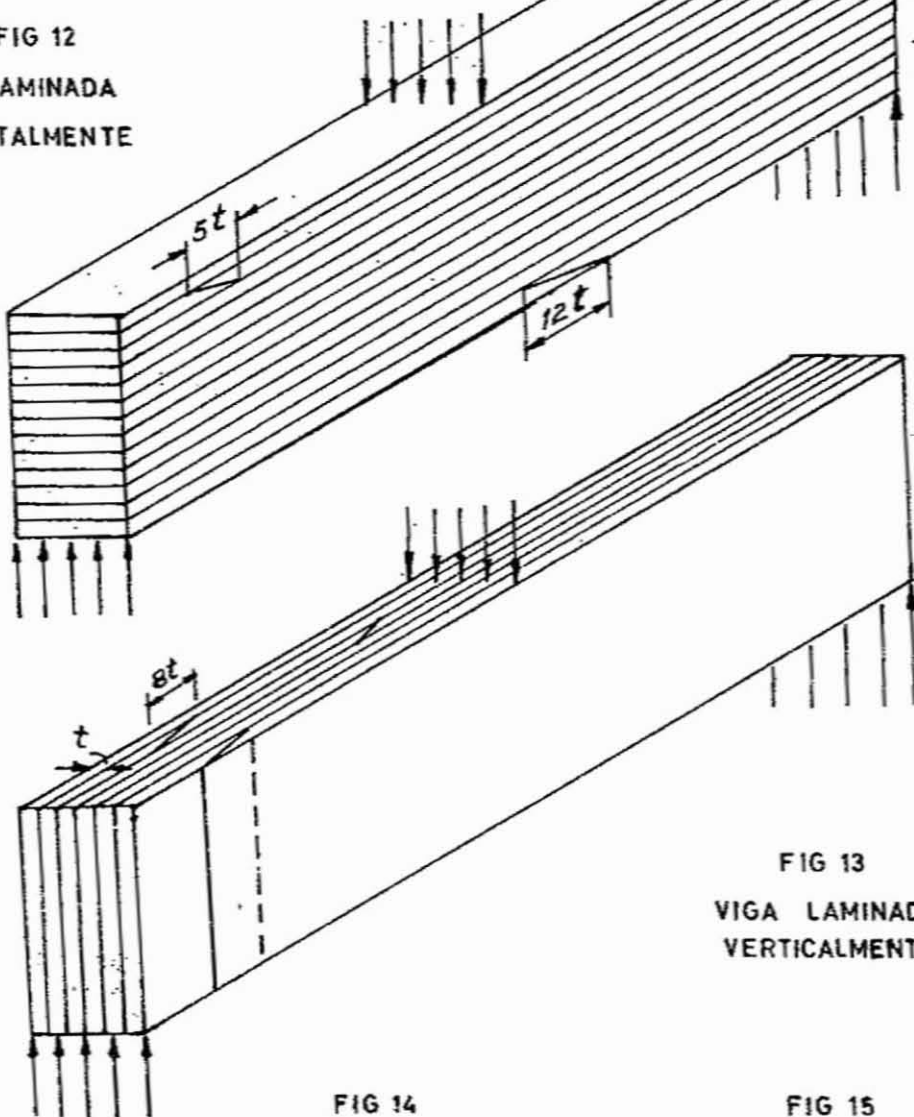
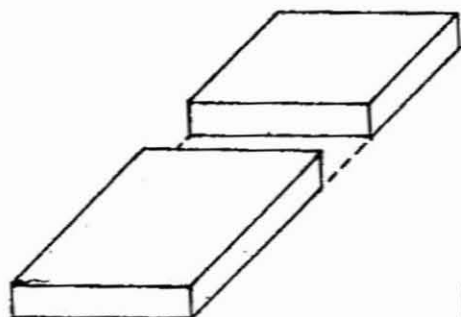


FIG 13

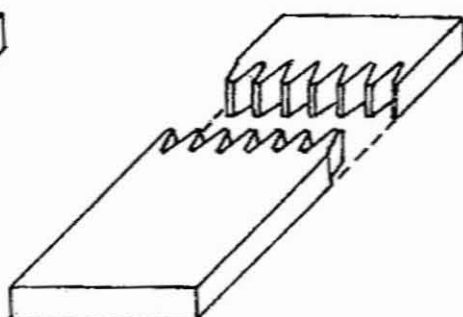
VIGA LAMINADA VERTICALMENTE

FIG 14



JUNTA DE TOPE

FIG 15



EMPALME DENTADO



En elementos comprimidos unidos con juntas achaflanadas simples con inclinación de 1:5 y, por supuesto, con inclinaciones menores, se aceptan las mismas fatigas admisibles de trabajo que en laminaciones limpias, sin uniones. Esta es una regla generalmente aceptada y se puede mencionar que los experimentos realizados en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de Finlandia han corroborado estas afirmaciones.

Las lamelas de vigas laminadas verticalmente deben ser ensambladas con una inclinación no mayor que 1:8 (Fig. 13).

Las juntas ensambladas deben dispersarse en los elementos traccionados y en la zona de tracción de la sección transversal de los elementos sometidos a flexión. El mínimo espaciamiento entre dos juntas, medido entre las líneas de cola exteriores, debe ser de aproximadamente 6 pulgadas y puede llegar hasta 0 en el eje neutro. En elementos sometidos a compresión y en la zona de compresión de elementos sometidos a flexión, no se hace ninguna indicación de espaciamiento, cuando los empalmes tienen una inclinación de 1:5 ó menor.

De acuerdo con las especificaciones norteamericanas y canadienses, se considera que las uniones de tope no transmiten esfuerzos de tracción ni de compresión. Las especificaciones finlandesas sobre madera laminada aceptan el uso de juntas de tope en la zona de compresión sin reducción de la resistencia, bajo ciertas condiciones. Esta regla se basa en cuidadosos ensayos de laboratorio; en la práctica industrial hay, por supuesto, siempre un cierto elemento de riesgo. Las juntas de tope deben ubicarse bien espaciadas a lo largo de la viga.

Según las especificaciones canadienses, no debe permitirse más de una junta de tope en un largo equivalente a la altura del elemento estructural y estas juntas de tope, en lamelas adyacentes, deben estar espaciadas en, por lo menos, 10 veces el espesor de la lamela. Las especificaciones finlandesas permiten solamente una junta de tope en una longitud equivalente a la mitad de la altura de la viga, y estas juntas de tope se permiten, por supuesto, solamente en elementos rectos.

En algunos casos, en Australia se han diseñado elementos curvos usando solamente juntas de tope. Desde luego, de esta manera se pierde mu-

cha madera. En otras palabras, se necesitan más lamelas en este arco con empalme de tope que en un arco equivalente con uniones realizadas mediante juntas achaflanadas (Fig. 14).

Los investigadores escandinavos durante los últimos años y en diferentes institutos, han brindado especial atención a los empalmes dentados (finger joints) (Fig. 15).

No se dispone de resultados finales, pero parece estar esclarecido que los empalmes dentados deberían permitirse en este sistema constructivo. Es solamente cuestión de determinar los factores de reducción por aplicar en estos empalmes. De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos, estos factores pueden estar comprendidos entre 0,60 y 0,75. Esta es una reducción bastante fuerte que no cuenta con las simpatías de los fabricantes. Se están haciendo estudios, especialmente en Suecia, para desarrollar una máquina destinada a fabricar empalmes dentados de alta eficiencia.

2.5.4. Cargas de corta duración. La carga de mayor importancia que actúa sobre un edificio de madera laminada de gran luz es, generalmente, debida a la acción del viento, puesto que el peso propio de la estructura misma es pequeño. Los cálculos realizados por los Srs. Echaverría y González y que se exponen más adelante, evidencian este hecho muy claramente. Estos cálculos se han ceñido a la norma INDITECNOR 63-8, "Acción del viento sobre las construcciones".

De acuerdo con investigaciones realizadas en EE.UU., una estructura de madera es más resistente a la acción del viento que una estructura de acero. Cuando se considera la acción del viento, las especificaciones inglesas aceptan tomar fatigas admisibles un 50 % mayores (en relación con las cargas estáticas) y, de acuerdo con las especificaciones norteamericanas y noruegas, el porcentaje aceptado es de 33 1/3 %.

En las antiguas especificaciones finlandesas publicadas hace seis años se seguía otro método: se permitía multiplicar todas las cargas de corta duración por 0,65 y se mantenían las fatigas admisibles. Se daban, además, reglas muy detalladas para las diferentes posibilidades de carga. Desgraciadamente, no fue una tarea muy breve y simple elaborar un conjunto consistente de especificaciones, considerando las muchas y completas formas en que

las cargas producidas por el viento pueden influir en una estructura.

Debido a la complejidad de dicho capítulo de las especificaciones, los ingenieros no utilizaban las disposiciones allí contenidas y hubo necesidad de volver al método simple utilizado por los norteamericanos, ingleses, etc.

La alta capacidad que posee una estructura de madera para soportar sobrecargas momentáneas proviene principalmente del hecho de que la madera, debido a su estructura, está dotada, en un considerable grado, de la así llamada "elasticidad retardada".

Existe, por supuesto, una cantidad de detalles que deben ser considerados al diseñar estructuras de madera laminada; pero es imposible mencionarlos todos en esta breve exposición. En todo caso, se han tratado de cubrir los puntos de vista más importantes que deben tomarse en consideración para trabajos prácticos.

3. LA FABRICACION DE ESTRUCTURAS LAMINADAS

3.1. Generalidades.

La misión principal desarrollada en Chile, por el Sr. Reino Mykäläinen, como consultor de la FAO, consistió en la organización y fabricación de las primeras construcciones de madera laminada. De acuerdo con las instrucciones, esta fabricación debería basarse en métodos muy simples,

Es necesario destacar este hecho, pues los métodos usados para la fabricación de los marcos laminados en la planta de la Sociedad Agrícola y Forestal Copihue S.A. (Talca), fueron extraordinariamente sencillos.

A continuación se explicará la manufactura de madera laminada, limitándose a los principios generales de producción. Como existe mucha literatura sobre esta materia, incluyendo los métodos y reglamentos que se deben aplicar, no se ha considerado necesario referirse a ellos en detalle.

3.2. Instalaciones, máquinas y equipos necesarios para la fabricación.

Para hacer estas construcciones se requiere mucho espacio en la fábrica. Esta puede ser dividida en 3 secciones esenciales, a saber:

- a) elaboración de la madera y preparación de las lamelas;
- b) armados de las construcciones laminadas y,
- c) trabajos de terminación y almacenamiento.

Para cada una de las operaciones recién mencionadas se necesita un espacio más o menos similar. Las dos últimas secciones deberán ser equipadas con grúas destinadas a mover piezas pesadas de madera laminada.

Naturalmente, también es posible fabricar este tipo de madera en espacios reducidos, aunque tiene la desventaja de que los costos resultan elevados y, además, se presentan limitaciones en la manufactura de ciertos tipos.

Cuando se proyecta la fabricación de madera laminada se debe partir de una planificación completa, que permita, posteriormente, aumentar la superficie de trabajo con facilidad, de acuerdo a las necesidades que se presenten. Para hacer construcciones laminadas de un volumen de 1.000 a 5.000 metros cúbicos por año, se estima que la fábrica deberá tener 1 metro cuadrado de superficie por cada metro cúbico de capacidad anual, o sea en estos casos, entre 1.000 y 5.000 metros cuadrados; sin embargo, influye la mecanización y el tipo de madera laminada fabricada. La temperatura y humedad del aire, de alrededor de dos tercios de este espacio, deberán ser controladas, siendo necesario dar gran importancia al control de la temperatura, porque varía mucho durante las 24 horas del día (20°C o más).

Otro aspecto muy importante y que es necesario cuidar, es el costo de transporte, motivo por el cual la ubicación de la maquinaria y los lugares de trabajo deberán ser seleccionados, de tal manera que presenten facilidades para el transporte interno y externo.

Cabe destacar que la forma, el tamaño y el peso de la madera laminada varían mucho y es así como una pieza puede pesar sobre 5 toneladas. En los talleres se usan comúnmente modernas grúas eléctricas de puente.

La sección encolado deberá estar aparte de la destinada a la elaboración, con el fin de evitar que el polvo afecte al proceso. Como el endurecimiento de los adhesivos depende de la temperatura, se deberá poder aumentar ésta en esta sección, en tal forma que permita acelerar la fabricación.

Los talleres que no puedan variar la temperatura son considerados de tipo provisional y en muchos países no se les permite hacer estas construcciones.

Es obvio que las fábricas de madera laminada deben tener un secador apropiado y, además, medidores para determinar el contenido de humedad de la madera. Esta deberá ser clasificada de acuerdo a los reglamentos aplicables en esta especialidad.

Para la elaboración de la madera aserrada se necesitan buenas máquinas que permitan prepararla de acuerdo a normas estrictas. El ensamble se realiza con prensas especiales, de mucha resistencia, que permiten emplear la presión necesaria. Con el fin de obtener la presión en poco tiempo, se usan, en algunos casos, llaves neumáticas.

3.3. Adhesivos.

La calidad de la madera laminada depende principalmente del tipo de adhesivos que se use y de la forma en que se apliquen. Por este motivo, el fabricante debe poseer un conocimiento completo de los distintos adhesivos que haya en el mercado y estar familiarizado con los siguientes factores:

- resistencia del encolado de las juntas, usando diferentes cantidades de adhesivos;
- resistencia del encolado en distintos ambientes de humedad;
- resistencia a las bacterias y hongos;
- forma de preparar los adhesivos y las mezclas de éstos;
- aplicación del catalizador ("hardener") y
- efecto de la temperatura a tiempo "abierto" y bajo los efectos de la presión.

3.4. Consideraciones sobre el personal técnico.

Para fabricar madera laminada se necesita personal técnico bien entrenado que conozca los métodos de trabajo y el manejo de la maquinaria, ya que esta manufactura demanda un control permanente.

En varios países se exige que la persona responsable de cada fábrica cumpla ciertos requisitos mínimos sobre esta materia, antes de que

pueda hacerse cargo de la manufactura de madera laminada.

3.5. Marcas en los elementos de la madera laminada.

Durante el proceso de fabricación, cada elemento de madera laminada es marcado cuidadosamente, preferentemente con una marca pirograbada. Por lo general, se exige que ésta resulte visible después de la instalación, para que el fabricante pueda ser identificado y así verificar los distintos datos referentes a su manufactura.

3.6. Control de calidad en la fabricación.

Una inspección visual en las estructuras de madera laminada no permite determinar si fueron bien hechas o no. Debido a la gran responsabilidad que le cabe al fabricante, cada empresa debe tener un control estricto sobre la calidad; los diferentes datos de cada estructura laminada son anotados en tarjetas o libros de control, los cuales son diariamente revisados y firmados por la persona responsable del taller.

En la mayoría de los países se exige un permiso de las autoridades para fabricar madera laminada. Este permiso indica en detalle, para cada industria, el tipo de estructura laminada que puede hacer, así como el tamaño de la misma. Tendrá que existir una inspección sobre el control de calidad por parte de las autoridades para que dé seguridad al comprador y evitar que algunas empresas irresponsables fabriquen madera laminada de mala calidad, perjudicando a toda la industria, tal como ha ocurrido en algunos países.

Esta industria se basa en la confianza mutua entre el comprador y el fabricante y, por consiguiente, en el proceso industrial no se puede correr ningún riesgo, sino que, por el contrario, es necesario cumplir todos los reglamentos e instrucciones existentes. Además, la industria debe desenvolverse con miras hacia el futuro y preocuparse de obtener la confianza de los compradores. En esta tarea, ningún esfuerzo que se haga para mejorar la calidad de los productos laminados es demasiado grande.



4. PROPOSICION DE ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE CONSTRUCCIONES DE MADERA LAMINADA.

4.1. Disposiciones generales.

Estas especificaciones se refieren sólo a aquellas construcciones que utilizan algún tipo de madera blanda (conífera), en forma de lamelas encoladas entre sí y de modo que las direcciones de las fibras de las diferentes lamelas sean paralelas. El número de lamelas constitutivas deberá ser igual o superior a cuatro.

El contenido de humedad de cada una de las lamelas no deberá diferir en $\pm 2,5\%$ con respecto al contenido de humedad medio.

El contenido de humedad de las laminaciones a ensamblar deberá ser, en el momento del encolado, inferior a 16% y lo más cercano posible al contenido de humedad medio que alcanzará la estructura en servicio.

La elección del adhesivo dependerá de las variaciones del contenido de humedad y del contenido máximo que se estime prevalecerá en la estructura. Se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- a) Los adhesivos a base de resorcinol-formaldehído, fenol-formaldehído, mezclas de estas dos resinas, siempre que el contenido de fenol-formaldehído sea a lo sumo igual al 25% y melamina-formaldehído, podrán utilizarse en todas las condiciones posibles que admite una construcción de madera. En los casos de exposición continua a la intemperie o a la acción del agua e inmersiones frecuentes en agua, deberán utilizarse, exclusivamente, los adhesivos anteriormente mencionados.
- b) En aquellas construcciones en que se presente poca humedad, se podrán utilizar, además de los adhesivos mencionados anteriormente, colas a base de caseína y urea-formaldehído. Esta recomendación tiene validez, por ejemplo, en el caso de interiores calefaccionados durante las estaciones húmedas o en el de edificios bien ventilados, en que el contenido de humedad no exceda del 15% .
- c) Además de las colas mencionadas en a), se permitirá el uso de adhesivos basados en urea-formaldehído, en aquellos casos en que se presenten condiciones severas de exposición a la humedad durante cortos períodos de

tiempo, siempre que el contenido de humedad medio anual no exceda del 15%.

d) En el caso de utilizar elementos estructurales encolados en un ambiente en que la temperatura y humedad del aire pueden influir considerablemente en el contenido de humedad de la madera, será preciso seguir las recomendaciones de un instituto oficial conocido y competente.

Durante las operaciones de encolado deberá cuidarse de cumplir con las instrucciones dadas por el fabricante del adhesivo, en cuanto a tiempos de ensamblado y prensado, temperatura ambiente, presión a aplicar, etc. Las presiones usadas en la práctica, en el encolado de laminaciones de maderas blandas (coníferas), varían entre 6 y 10 kg/cm².

En el caso de empleo de adhesivos a base de resorcinol-formaldehído, fenol-formaldehído o mezclas de estas dos resinas, se podrán aplicar preservativos a las lamelas antes del encolado, siempre que los preservativos usados no estén constituidos por creosota u otro líquido que contenga algún tipo de aceite. En este mismo caso se permitirá el uso de todo tipo de preservativos una vez que el elemento estructural de madera laminada encolada haya sido terminado.

Se recomienda no hacer uso de sustancias protectoras contra la acción del fuego antes de la aplicación del adhesivo, ya que ellas complican las operaciones de encolado aún más que los preservativos comunes para madera.

No se permitirá efectuar el transporte de los elementos encolados antes de que la cola haya fraguado totalmente.

Los elementos que no hayan sido encolados mediante el uso de adhesivos a base de resorcinol-formaldehído o fenol-formaldehído, deberán protegerse cuidadosamente de la lluvia durante el transporte, almacenamiento y montaje.

Se permitirá el uso de clavos con el objeto de aplicar presión, solamente en concordancia con instrucciones especiales de un instituto oficial. A modo de regla general, deberá tenerse en consideración que el clavado se aceptará sólo si se utilizan adhesivos de película gruesa o llenadores ("gapfilling"), como la cola caseínica, por ejemplo.

Se permitirá la fabricación de estructuras de madera laminada encolada solamente cuando dichas estructuras hayan sido calculadas por un profesional calificado o por alguna persona que tenga una amplia experiencia

en el diseño de estructuras de madera, además de conocimientos equivalentes a los de un ingeniero.

Toda fábrica que se dedique a la producción de elementos de madera laminada deberá disponer de las instalaciones y equipo adecuados. Estos pueden variar, dependiendo de la ubicación geográfica de la planta, así como del tipo, luz y cantidad de los elementos producidos.

Se permitirá producir elementos de madera laminada encolada solamente a aquellas plantas que hayan sido recomendadas por un instituto oficial como sería el caso de IDIEM. Esta recomendación, otorgada por dicho instituto oficial, tendrá un año de validez y deberá indicar exactamente los tipos y dimensiones, especialmente la luz de las estructuras que la planta es capaz de producir. Además, deberá considerarse:

- a) La preparación y experiencia de los empleados
- b) La capacidad de cumplir con los requisitos estipulados para el material básico: la madera
- c) Las condiciones prevalecientes en la planta (protección adecuada para los materiales y las operaciones de encolado y fraguado, instalaciones que permitan evitar que se produzcan cambios sustanciales en el contenido de humedad de la madera durante el proceso de fabricación, etc.)
- d) El equipo de ensayo e inspección
- e) Las instalaciones para efectuar un control continuo de la producción, y
- f) Toda otra circunstancia que pudiera tener influencia en este proceso.

El texto de la recomendación deberá contener el nombre de la o las personas encargadas de supervisar la clasificación y el secado de la madera aserrada, así como las operaciones de encolado.

El cepillado de las lamelas deberá efectuarse en un plazo máximo de 24 horas antes del encolado. En el caso de lamelas tratadas con preservativos, este plazo máximo será de 12 horas.

El espesor de cada lamela deberá diferir como máximo en $\pm 0,2$ mm con respecto al espesor medio. Las imperfecciones de la superficie deberán tener una altura máxima de 0.05 mm.

Todas las superficies de encolado deberán ser planas, lisas, cepilladas a máquina, sin lijar y exentas de fibras levantadas u otras desvia-

ciones que puedan interferir el contacto de las fibras firmes de las lamelas. Además, las superficies de encolado deberán estar limpias de polvo o cualquier otra sustancia extraña que pueda perjudicar el proceso de encolado.

4.2. Requisitos estructurales.

El espesor de las lamelas no deberá exceder de 55 mm. Si el ancho de las lamelas es mayor de 15 cm no se podrá utilizar un espesor mayor de 37 mm. Si la construcción va a estar expuesta a grandes variaciones de humedad, inmersiones frecuentes en agua, exposición continua a la intemperie, etc., deberá utilizarse un espesor menor de 37 mm, independiente del ancho de la pieza.

Las lamelas constitutivas de elementos rectos sometidos a flexión deberán unirse en sus extremos mediante juntas achaflanadas, con una inclinación máxima de 1:10 en el lado de tracción del elemento y de 1:5 en el lado de compresión, (ver Fig. 16). Sin embargo, si el elemento va a estar sometido a grandes variaciones de humedad o si su contenido de humedad va a ser constante o intermitentemente superior a 20%, la pendiente de las uniones de los extremos de las lamelas exteriores, en el lado de tracción deberá ser a lo sumo 1:12.

La inclinación de las uniones en una pieza comprimida, con riesgo de pandeo, deberá ser a lo sumo 1:5 y si existe la posibilidad de grandes variaciones en el contenido de humedad, la pendiente máxima deberá ser 1:8.

Deberá evitarse la concentración de empalmes achaflanados tanto como sea posible. No se especifica ningún requisito de espaciamiento de estas uniones en chaflán con inclinación máxima de 1:5, en el caso de elementos comprimidos o zonas comprimidas de vigas sometidas a flexión. En elementos traccionados o zonas de tracción de vigas sometidas a flexión, en cambio, el espaciamiento mínimo entre extremos de líneas de cola de empalmes de lamelas adyacentes deberá ser $10t$, siendo t el espesor de una lamela (ver Fig. 16).

En el caso de vigas constituidas por lamelas verticales, no se permitirá el uso de inclinaciones mayores que 1:8.

Se permitirá el uso de uniones de tope solamente en el caso de elementos rectos. Conjuntamente deberán observarse las siguientes condiciones:

FIG. 16.

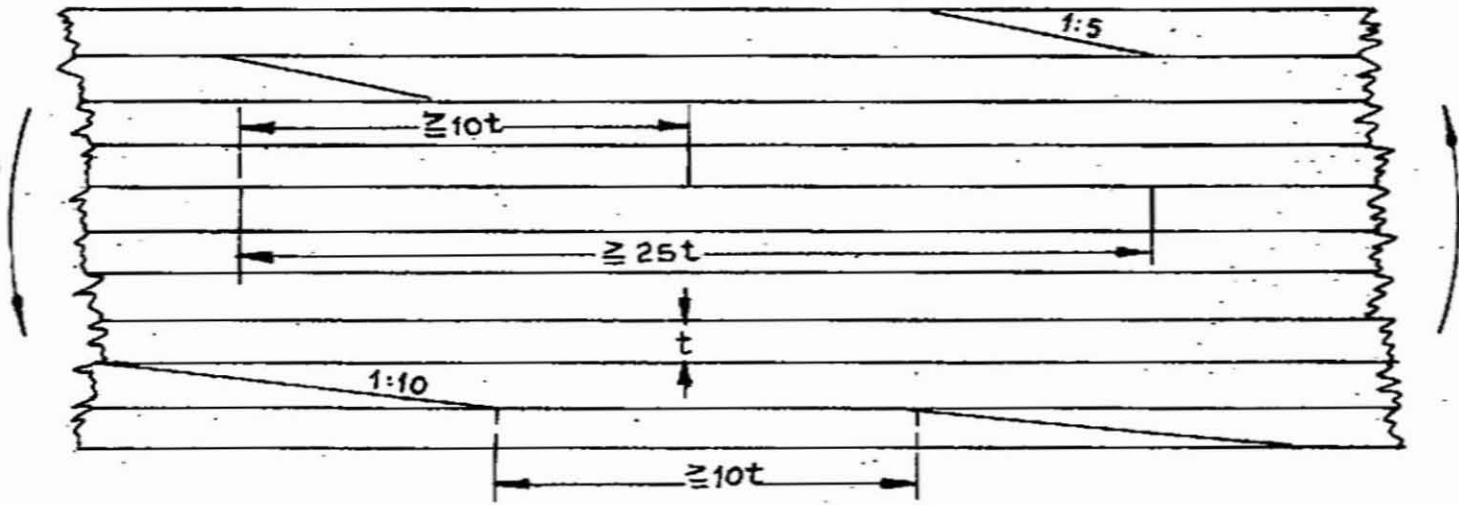


FIG. 17.

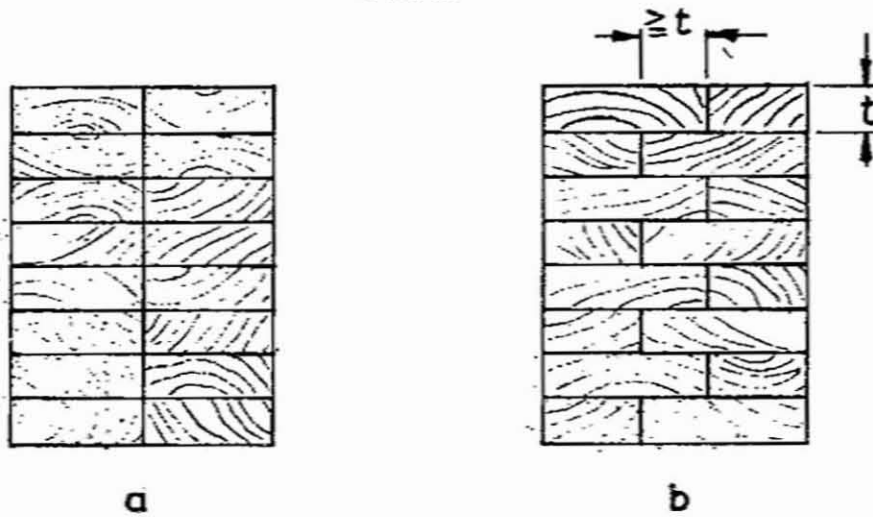
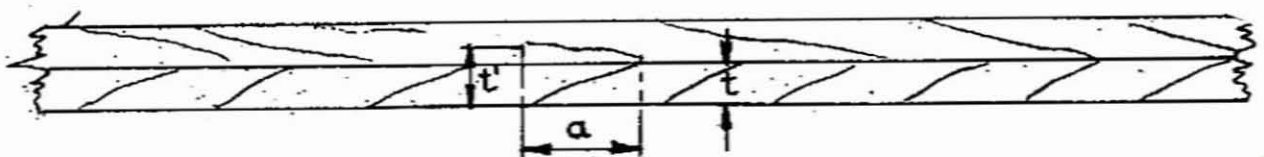


FIG. 18.



$t:a \geq 1:10$

- a) No deberán utilizarse uniones de tope en el lado de tracción, ni en el de compresión, en el sexto exterior de la altura de la viga
- b) La distancia entre uniones de tope de laminaciones adyacentes deberá ser, por lo menos, 10 veces el espesor de las lamelas, (Fig. 16)
- c) La distancia entre empalmes de tope en una misma lamela deberá ser 25 veces el espesor de ella, como mínimo, (Fig. 16)
- d) No deberá haber más de una unión de tope, en un trozo cualquiera de longitud equivalente a la mitad de la altura de la viga, (Fig. 16) y
- e) Las lamelas unidas de tope deberán procesarse cuidadosamente con el fin de establecer el mejor contacto posible entre sus extremos.

Si se va a elaborar un elemento curvo utilizando madera de pino insignis (*Pinus radiata*), el espesor t de las lamelas no deberá exceder de $R/200$ (R = radio de curvatura de la laminación). En el caso de usar otras maderas blandas (coníferas) chilenas, la elección del espesor máximo para elementos curvos deberá basarse en las recomendaciones proporcionadas por un instituto oficial.

Se permitirá el uso de uniones dentadas ("finger joints") en las lamelas interiores, en una zona correspondiente al 70 % de la altura de la sección, siempre que la reducción de la resistencia debida al uso de ellas, de acuerdo con ensayos realizados para este efecto, no exceda de un 30 % (ver, además, normas DIN 68140). Se permitirá el uso de empalmes dentados en las zonas exteriores de una pieza sometida a flexión (15 % de la altura total en cada extremo), solamente cuando así lo recomiende un instituto oficial, respaldado por una cantidad suficiente de ensayos de estas uniones y utilizando la madera chilena que corresponda al caso en referencia.

Quando se haga necesario obtener piezas de anchos mayores que los usuales, mediante el empleo de uniones de canto y ellas se realicen previamente al armado de las lamelas, de acuerdo con las disposiciones contenidas en las presentes especificaciones, no será preciso que estas uniones se distribuyan en alguna forma especial. En cambio, si este encolado de los cantos se hace simultáneamente con el de las caras, deberá procurarse que las líneas de cola de las uniones de canto de dos lamelas adyacentes estén separadas por una distancia por lo menos igual al espesor de las lamelas, (Fig. 17)

Si las direcciones de las fibras de las lamelas unidas se encuentran formando un ángulo en la cara de unión, deberá observarse que la razón t' : o sea, 1:10 como máximo (Fig. 18).

Cuando la razón h/b (h y b = altura y ancho de la sección transversal, respectivamente) sea mayor que 6, el peligro de pandeo lateral de la estructura deberá evaluarse adecuadamente.

4.3. Verificación de tensiones.

Las estructuras de madera laminada encolada deberán diseñarse mediante el uso de las fórmulas de la teoría de la elasticidad y los métodos comúnmente conocidos que se aplican en el diseño de estructuras de madera. Además, deberán considerarse las instrucciones proporcionadas por estas especificaciones para estructuras de madera laminada encolada y las especificaciones para el diseño de estructuras de madera.

La fatiga admisible de flexión, para elementos de madera laminada encolada, estará determinada por las laminaciones exteriores en las zonas de tracción y compresión. El espesor de cada una de estas zonas de laminaciones exteriores que rigen el diseño, tanto en el lado de compresión como en el de tracción, deberá comprender como mínimo, un 15 % de la altura total de la sección. En consecuencia, si por lo menos un 15 % de la altura del elemento, en cada lado, esta constituida por madera de primera, se podrá utilizar, en el diseño, la fatiga admisible de flexión para madera aserrada de primera, independientemente de la clasificación en cuanto a resistencia de las otras laminaciones, que comprenden el 70 % de la altura del elemento. La clasificación de la madera debería ceñirse a las Reglas de Clasificación de Maderas Aserradas Blandas (coníferas).

Las fatigas admisibles para vigas constituidas por lamelas verticales serán las correspondientes a viguetas ("joists and planks") clasificadas de acuerdo con las Reglas ya mencionadas. Esta clasificación deberá realizarse usando lamelas de longitud y altura totales. El resultado de esta clasificación determina la clase en cuanto a resistencia del elemento en cuestión.

En el diseño de estructuras de madera laminada encolada se permi-

tirá aumentar los valores de las fatigas admisibles y de los módulos de elasticidad especificados para las diferentes especies de maderas aserradas blancas chilenas, aplicando los coeficientes K_r dados en la tabla siguiente:

Clasificación por resistencia	I	II	III
Flexión, tracción y compresión	1.1	1.2	1.3
Cizalle	1.2	1.2	1.2
Módulo de elasticidad de flexión	1.2	1.2	1.2

La fatiga admisible, en el caso de elementos curvos, deberá calcularse multiplicando la fatiga admisible correspondiente a vigas rectas por el factor K :

$$K = K_r \left[1 - 2000 \left(\frac{t}{R} \right)^2 \right]$$

En esta fórmula, K_r es el factor que se ha determinado de acuerdo con las disposiciones contenidas en el párrafo anterior, t el espesor de la lamela y R el radio de curvatura.

En arcos y partes curvas de marcos deberá verificarse la fatiga de compresión normal a la dirección de las fibras σ_{\perp} , debido a la acción de los momentos de flexión. Esta fatiga de compresión normal a las fibras σ_{\perp} , se calculará mediante la fórmula:

$$\sigma_{\perp} = \frac{3M}{2Rbh} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

en que R es el radio de curvatura, b el ancho de la sección transversal y h su altura. Si el momento de flexión produce esfuerzos de tracción en dirección paralela a las fibras, en el lado convexo del elemento curvo, σ_{\perp} deberá ser, a lo sumo, igual a la fatiga admisible de compresión normal a las fibras, definida por la clasificación en cuanto a resistencia de la lamela exterior. Si el momento de flexión produce esfuerzos de tracción paralela a las fibras, en el lado cóncavo, σ_{\perp} no deberá ser mayor que un tercio de la fatiga admisible de cizalle correspondiente a la laminación exterior.

5. PROPOSICION DE UN SISTEMA DE CALIDAD PARA ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA.

5.1. Generalidades.

Estas reglas de control de calidad se refieren solamente a aquellas estructuras laminadas encoladas en que las direcciones de las fibras de las lamelas son principalmente paralelas y en que el número de lamelas es por lo menos igual a 4.

Deberá tenerse en especial consideración que la operación de encolado de vigas, arcos, marcos y otros elementos estructurales es un proceso que requiere gran atención y responsabilidad por parte del fabricante.

El objetivo de estas reglas es el de asegurar que la producción, en todas aquellas plantas que han recibido una recomendación o certificado de un instituto calificado para fabricar estructuras de madera laminada encolada, se encuentre bajo control adecuado y que las instalaciones, equipo y otros aspectos que digan relación con el tema, sean apropiados para realizar las distintas faenas involucradas.

Es posible asegurar la idoneidad de los productos de madera laminada encolada mediante una acabada inspección visual de ellos, clasificación de las lamelas en cuanto a resistencia y control de los adhesivos o colas en uso. También deberá tomarse en cuenta el control del proceso de laminación y los ensayos de muestras extraídas de los elementos fabricados.

5.2. Consejo o Junta de Laminación.

El control de calidad y el proceso de laminación en Chile deberá ser realizado por un Consejo o Junta de Laminación constituido por 4 personas. Estas 4 personas deberán designarse en la siguiente forma:

- a) Un representante de las Municipalidades (organismo supervisor de la construcción en Chile),
- b) Un representante del Colegio de Ingenieros,
- c) Un representante de los fabricantes de estructuras de madera laminada encolada, que hayan sido favorablemente calificados por un instituto oficial, como por ejemplo IDIEM, para producir elementos de ma-

dera laminada encolada en Chile, y

- d) Un representante de un instituto oficial. Esta persona oficiará de secretario de la Junta de Laminación. Su período de actividad, en su calidad de primer secretario, será de, por lo menos, 4 años.

Los primeros contratos de la Junta de Laminación deberán extenderse por períodos de 1, 2; 3 y 4 años. Los reemplazantes deberán contratarse por períodos de 3 años. Los miembros de la Junta podrán ser reelegidos.

Las plantas pertenecientes al Sistema de Control de Calidad de Estructuras de Madera Laminada Encolada pagarán al secretario de la Junta de Laminación una remuneración fija y, a los miembros de la Junta, los gastos corrientes de viaje.

Para los efectos de la inspección, la Junta deberá basarse en las Especificaciones para el Diseño de Estructuras de Madera Laminada Encolada (EDENLE), Especificaciones para el Diseño de Estructuras de Madera (EDEM) y en la Guía para la Fabricación Industrial de Estructuras de Madera Laminada Encolada (GFIEMLE).

Se permitirá que, en determinados casos, la Junta delegue su trabajo de inspección en un miembro o miembros de un instituto oficial reconocido. La planta interesada deberá pagar los gastos ordinarios de viaje motivados por dicha inspección.

5.3. Limitaciones.

Se permitirá efectuar visitas de control solamente a aquellas plantas que sean miembros del Sistema de Control de Calidad de Estructuras de Madera Laminada Encolada.

La Junta no podrá solicitar información respecto de detalles que el fabricante considere secretos de fabricación y que afecten a la posición competitiva de la planta.

5.4. Solicitud de ingreso al sistema de control de calidad.

Cuando una determinada planta desee incorporarse al Sistema de Control de Calidad de Estructuras de Madera Laminada Encolada, deberá presentar una solicitud de ingreso a la Junta de Laminación para su estudio y aprobación

La solicitud de ingreso deberá incluir lo siguiente:

- a) Certificado otorgado por un instituto oficial como IDIEM, por ejemplo;
- b) Descripción de detalles que demuestren la capacidad de la planta para producir elementos de madera laminada encolada. Estos detalles aparecen consignados en los ítem 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8.

Cuando la Junta de Laminación haya estudiado la solicitud presentada y haya visitado la fábrica, deberá pronunciarse respecto de ella, ya sea en forma afirmativa o negativa, para lo cual dispondrá de un plazo de 60 días a contar de la fecha de recepción de la solicitud. Durante la inspección, el solicitante deberá poner a disposición de la Junta de Laminación o del examinador enviado por ella, toda la documentación y literatura necesarias y permitir el acceso a las máquinas, equipos y recintos, de manera de facilitar una inspección adecuada. El solicitante deberá dar tiempo suficiente al examinador, con el fin de que éste entreviste a los empleados, si así lo estima necesario.

Los gastos ordinarios de viaje de este examinador o de la Junta deberán ser sufragados por el solicitante.

En el caso de aprobación de una determinada planta, sus propietarios tendrán autorización para usar un sello de calidad que diga "Fabricante autorizado, aprobado por la Junta de Laminación Chilena en cooperación con IDIEM". Este sello podrá usarse conjuntamente con la marca de fábrica.

5.5. Personal de la planta.

El requisito mínimo es que en la planta exista por lo menos una persona calificada que sea responsable de la producción de las estructuras de madera laminada encolada. Esta persona deberá tener suficiente experiencia y conocimiento en campos afines, tales como clasificación de la madera aserrada, ingeniería estructural, adhesivos y procesos de fabricación. Será responsable del adiestramiento de los operarios que se desempeñen en las diferentes faenas de producción de madera laminada.

Todo cambio de importancia en el personal de la planta deberá comunicarse a la Junta de Laminación.

La capacidad de dar cumplimiento a los requisitos de calidad esta-

blecidos para la madera, como material básico, constituye un aspecto de singular importancia. Por esto es necesario que por lo menos una persona en la planta tenga experiencia y adecuado conocimiento de las Reglas de Clasificación de Madera Aserrada.

5.6. Condiciones existentes en la planta.

Deberán considerarse las siguientes condiciones:

- a) Almacenamiento adecuado del stock de lamelas, con el fin de asegurar que el contenido de humedad de la madera, inmediatamente antes del encolado, sea el que corresponde. Sólo se permitirá el uso de madera secada en secadores.
- b) Condiciones ambientales adecuadas del recinto utilizado en las operaciones de encolado y curado. Las colas y sus endurecedores deberán mezclarse en una habitación separada de la línea de producción. Esta habitación deberá estar provista de recipientes, agua suficiente para limpieza, etc.
- c) Almacenamiento adecuado de los adhesivos para mantenerlos en las condiciones especificadas con el fin de alcanzar la duración máxima de almacenamiento.

5.7. Equipo de fabricación.

El fabricante deberá demostrar al examinador que la planta satisface por lo menos los siguientes requisitos:

- a) Maquinarias de elaboración de madera en cantidad y calidad suficiente para efectuar las operaciones de cepillado de las lamelas hasta cumplir con las tolerancias de espesor especificadas en las EDEMILE.
- b) Equipo adecuado para realizar los empalmes de las lamelas en la forma especificada en las EDEMILE
- c) Equipo suficiente para cumplir con las condiciones de presión, humedad relativa ambiente, temperatura y tiempo de fraguado necesarios para elaborar los paquetes de lamelas, de acuerdo con las indicaciones proporcionadas por el productor del adhesivo.

- d) Equipo adecuado para la dosificación y mezcla del adhesivo.
- e) Equipo adecuado y bien mantenido para esparcir uniformemente y controlar el adhesivo en uso.
- f) Disponibilidad de instrucciones necesarias para efectuar el almacenamiento, mezcla y esparcimiento de la cola; control de tiempos máximos de ensamble abierto, cerrado y curado; y para labores en otros aspectos pertinentes a la producción de estructuras de madera laminada encolada.

5.8. Control de calidad.

En las plantas deberá existir por lo menos el siguiente equipo de control de calidad:

- a) Máquina que permita determinar la resistencia al cizalle de las uniones encoladas, mediante el uso del ensayo de cizalle por compresión ("block shear test"), conjuntamente con el equipo auxiliar, si es necesario para preparar las probetas de ensayo. Se deberán guardar los datos obtenidos durante un tiempo mínimo de dos años.
- b) Calibres standard para medir el espesor de las lamelas
- c) Medidor de humedad y estufa de secado para los ensayos en estado seco.
- d) Llave de torsión calibrada para regular la presión aplicada.
- e) Equipo de medidas de temperatura y humedad relativa en los recintos de trabajo y almacenamiento.

Además deberá considerarse lo siguiente:

Si es necesario efectuar ensayos de laminación para productos a prueba de agua, la planta deberá enviar las suficientes probetas a un instituto oficial para fines de comprobación o, en su defecto, la planta deberá estar provista de un autoclave y equipo de secado. Se deberán guardar los datos obtenidos durante un plazo mínimo de 2 años.

El número de probetas de ensayo deberá concordar con los indicado en la GFIEMLE.

El examinador o inspector, miembro de la Junta de Laminación o en-

viado por ella, deberá visitar la fábrica por lo menos una vez al año, sin previo aviso.

5.9. Modificación de estas reglas.

Las modificaciones de estas reglas deberán efectuarlas en íntima colaboración las plantas que pertenezcan a este Sistema de Control de Calidad para Estructuras de Madera Laminada Encolada y la Junta de Laminación, en forma conjunta. Se dará curso a dichas modificaciones en el caso de que estén respaldadas por los dos tercios de las plantas asociadas.

6. CALCULO DE VIGAS RECTAS DE MADERA LAMINADA.

A. DIMENSIONES

Consideramos 2 casos:

	<u>Caso A</u>	<u>Caso B</u>
	(Viga de techumbre)	(Viga interior de un edificio)
luz	$l = 15 \text{ m}$	$l = 8 \text{ m}$
Distancia entre vigas	$D = 4 \text{ m}$	$D = 2 \text{ m}$

B. CARGAS

	<u>Caso A</u>	<u>Caso B</u>
Peso propio estruct.	40 kg/m^2	50 kg/m^2
Sobrecarga	20 kg/m^2	250 kg/m^2
Total	60 kg/m^2	300 kg/m^2
Carga por metro lineal q	$q = 240 \text{ kg/ml}$	$q = 600 \text{ kg/ml}$



C. SOLICITACIONES (Considerando la viga simplemente apoyada)

1. Momentos de flexión al centro:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

$$\text{Caso A}$$

$$M = \frac{240 \times 15^2}{8}$$

$$M = 6.750 \text{ kgm}$$

$$\text{Caso B}$$

$$M = \frac{600 \times 8^2}{8}$$

$$M = 4.800 \text{ kgm}$$

2. Esfuerzos de corte en los apoyos

$$Q = \frac{q \cdot l}{2}$$

$$Q = 1.800 \text{ kg}$$

$$Q = 2.400 \text{ kg}$$

D. DISEÑO

1. Fatigas admisibles

En el caso de la viga de techumbre, el efecto del viento produciría succión sobre la superficie, la que, tomando la presión básica máxima de 100 kg/m^2 , sería considerando un coeficiente de forma $C = -0,4$

$$p = -0,4 \times 100 = -40 \text{ kg/m}^2,$$

succión que produce un efecto menor que el del peso propio, de manera que no la consideramos en el cálculo.

Por tratarse de madera laminada, tomaremos los siguientes coeficientes de amplificación, correspondientes a pino insigne de III clase, según el párrafo 4.3

Para fatiga admisible de flexión: 1,3

Para fatiga admisible de cizalle: 1,2

Para módulo de elasticidad en flexión: 1,2

De manera que:

$$\begin{aligned} \sigma \text{ adm. flexión} &= 70 \times 1,3 &= & 91 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau \text{ adm. //} &= 8 \times 1,2 &= & 9,6 \text{ kg/cm}^2 \\ E \text{ flexión} &= 100.000 \times 1,2 &= & 120.000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2. Dimensionamiento de las secciones

Tomaremos el ancho $b = 11,5$ cm (5" cepilladas) en ambos casos

$$h_{nec}^2 = \frac{6 M}{b \sigma}$$

$$\text{Caso A} \\ h_{nec}^2 = \frac{6 \times 675.000}{11,5 \times 91}$$

$$h_{nec} = 62,2 \text{ cm}$$

$$\text{Caso B} \\ h_{nec}^2 = \frac{6 \times 480.000}{11,5 \times 91}$$

$$h_{nec} = 52,5 \text{ cm}$$

Tomamos:

29 lamelas de $2,2 \times 11,5$ cm

$$h = 63,5 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{63,5}{11,5} = 5,5 < 6$$

24 lamelas de $2,2 \times 11,5$ cm

$$h = 53 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{53}{11,5} = 4,6 < 6$$

$\frac{h}{b} \leq 6$: límite dado por las especificaciones finlandesas.

3. Verificaciones

a) Esfuerzos de corte

$$\tau_{//} = 1,5 \frac{Q}{bh}$$

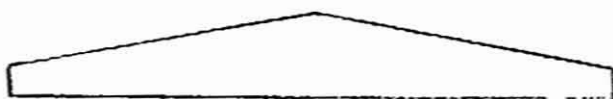
$$\tau_{//} = 1,5 \frac{1.800}{11,5 \times 63,5}$$

$$\tau_{//} = 1,5 \frac{2.400}{11,5 \times 53}$$

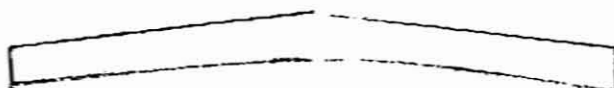
$$\tau_{//} = 3,7 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{//} \text{ adm}$$

$$\tau_{//} = 5,9 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{//} \text{ adm}$$

En el caso A se podría pensar en vigas de sección variable



utilizando al centro la sección recién diseñada y en los apoyos un mínimo de $11,5 \times 25$ cm. También se podría adoptar la solución



pero en este caso debería considerarse el efecto del viento.

b) Deformación máxima

De acuerdo con las especificaciones finlandesas se tomarán los siguientes límites restrictivos:

Caso A

$$f_{\text{máx}} = \frac{1}{200} \text{ (para peso propio estruc.)}$$

$$f_{\text{máx}} = \frac{1.500}{200} = 7,5 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5 q \cdot l^4}{384 EI}$$

$$f = \frac{5 \times 2,40 \times 1.500^4 \times 12}{384 \times 120\,000 \times 11,5 \times 63,53}$$

$$f = 5,4 \text{ cm} < f_{\text{max}}$$

Caso B

$$f_{\text{máx}_1} = \frac{1}{300} \text{ (para carga máxima)}$$

$$f_{\text{máx}_2} = \frac{1}{500} \text{ (para peso estructura + } \frac{1}{2} \text{ sobrecarga)}$$

$$f_{\text{máx}_1} = \frac{800}{300} = 2,7 \text{ cm}$$

$$f_{\text{máx}_2} = \frac{800}{500} = 1,6 \text{ cm}$$

$$f_1 = \frac{5 \times 6,00 \times 800^4 \times 12}{384 \times 120\,000 \times 11,5 \times 53,3}$$

$$f_2 = f_1 \times \frac{3,5}{6,0}$$

$$f_1 = 1,9 \text{ cm} < f_1 \text{ máx}$$

$$f_2 = 1,1 \text{ cm} < f_2 \text{ máx}$$

4. Contraflecha

Caso A: Se dará una contraflecha igual a la deformación calculada, debido a que el cálculo se efectuó con las cargas estáticas

$$\Delta = 5,4 \text{ cm}$$

Caso B: Se dará una contraflecha equivalente a la flecha debida a las cargas estáticas más la mitad de la sobrecarga

$$\Delta = 1,1 \text{ cm}$$

5. Resumen

Nº lamelas	29 lam. de 2,2 x 11,5 cm (1"x5")	24 lam. de 2,2 x 11,5 cm (1"x5")
Dimensiones sección	11,5 x 63,5 cm	11,5 x 53 cm
Contraflecha al centro	5,4 cm	1,1 cm

7. CALCULO DE UN MARCO TRIARTICULADO DE MADERA LAMINADAA. Dimensiones generales

Luz	$l = 24 \text{ m}$
Altura total	$H = 8 \text{ m}$
Altura pilares	$h = 3 \text{ m}$
Distancia entre mercos	$D = 4 \text{ m}$
Espesor de las lamelas	$t = 2,2 \text{ cm (1")}$
Radio de curva- tura mínimo	$R = 4,4 \text{ m}$

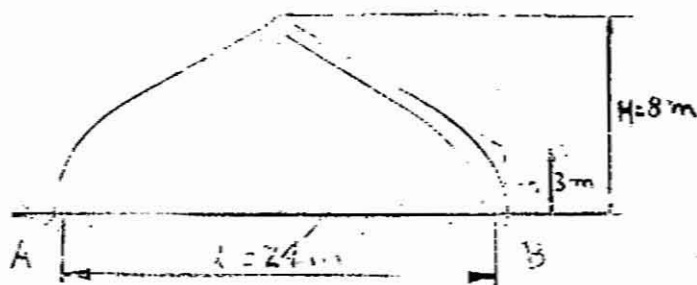


Fig. 19

El radio de curvatura mínimo se ha determinado tomando la razón

$\frac{t}{R} = \frac{1}{200}$, valor que es utilizado en otros países y que ha sido corroborado por las experiencias realizadas en Talca por el Instituto Forestal.

B. Cargas de Cálculo

1. Peso propio (techumbre, costaneras y marcos) = 40 kg/m^2
2. Acción del viento: El cálculo se ceñirá a las disposiciones de la norma INDITECHOR 63-8, tomando como presión básica: $q = 75 \text{ kg/m}^2$

C. Esfuerzos para el Diseño

Después de efectuar un cálculo aproximado se obtuvieron los siguientes valores:



Tabla N° 1

MOMENTOS DE FLEXION EN EL MARCO

Pto. (1)	Momentos de flexión (kg-m) debidos a (2)			Momentos Máximos	Pto. N°
	Peso Propio	Acción del viento			
		Lado de presión	Lado de succión		
I	- 510	+ 1260	- 800	- 1310	I
II	- 890	+ 1790	- 1150	- 2040	II
III	- 990	+ 2110	- 1460	- 2450	III
IV	- 960	+ 2280	- 1750	- 2710	IV
V	+ 20	+ 2340	- 2170	+ 2360	V
VI	+ 850	+ 2230	- 2410	+ 3080	VI
VII	+ 1320	+ 2010	- 2380	+ 3330	VII
VIII	+ 1470	+ 1640	- 2110	+ 3110	VIII
IX	+ 1240	+ 1240	- 1520	+ 2450	IX
X	+ 770	+ 570	- 830	+ 1340	X

(1) Ver Fig. 20

(2) El signo + corresponde a tracción en la fibra interior del marco

Para las cargas de peso propio tenemos:

Reacción Vertical : 1920 kg

Reacción Horizontal : 1440 kg

Esfuerzo de corte (normal al
eje) en la clave (C) : 650 kgD. Diseño1. Esfuerzos unitarios admisibles:

a) Esfuerzos unitarios admisibles básicos: A falta de valores oficiales en nuestro país, se adoptarán los esfuerzos unitarios admisibles básicos medios señalados en las especificaciones finlandesas. A juicio del Profesor Niskanen, después de una inspección ocular de la madera y de analizar resultados de experiencias realizadas en el IDIEM, se pueden aceptar los esfuerzos unitarios admisibles para el pino insigne de III

clase. En consecuencia, se utilizarán los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \text{flexión:} & \quad \sigma_{\text{adm.}} = 70 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{cizalle paralelo a las fibras:} & \quad \tau_{// \text{ adm.}} = 8 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{compresión perpendicular a las fibras:} & \quad \sigma_{\perp \text{ adm.}} = 10 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

b) Amplificación por tratarse de madera laminada: Las especificaciones finlandesas contemplan coeficientes de amplificación de los esfuerzos unitarios admisibles, en consideración a que este sistema constructivo permite evitar las concentraciones de defectos en una sección determinada y efectuar una selección más rigurosa de la madera. En los casos de flexión y de compresión se especifica un coeficiente 1,3 y en el de cizalle paralelo a las fibras, 1,2. de manera que los esfuerzos unitarios admisibles básicos se transforman en:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{adm}} &= 70 \times 1,3 = 91 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_{\perp \text{ adm}} &= 10 \times 1,3 = 13 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{// \text{ adm}} &= 8 \times 1,2 = 9,6 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

c) Amplificación para combinación de solicitaciones temporales y permanentes: Cuando se considera la combinación de esfuerzos provenientes de cargas temporales y permanentes, las especificaciones europeas, en general, aceptan aumentar los esfuerzos unitarios admisibles en un 50%. En este ejemplo, en cambio, el diseño se ceñirá a las normas norteamericanas que indican un aumento del 33,3 % en el caso de combinar las acciones permanentes y de viento. Esta consideración da un margen de seguridad más que suficiente para cubrir el eventual efecto sísmico que, en todo caso, no es determinante en el diseño de este tipo de estructuras, debido al reducido peso propio y al corto período de tiempo durante el cual actúa el sismo. La norma chilena Inditecnor 31-104 (Cálculo de Construcciones de Acero) especifica un aumento de un 33 1/3 % con respecto a las fatigas admisibles básicas para el caso de combinación de cargas permanentes con una sola carga eventual (viento o temblor).
Luego: $\sigma_{\text{adm}} = 91 \times 1,33 = 120 \text{ kg/cm}^2$

d) Reducción en el caso de elementos curvos: Las normas finlandesas especifican la aplicación de un coeficiente de reducción a los esfuerzos unitarios admisibles a considerar en el caso de elementos curvos:

$$k = k_r \left[1 - 2000 \left(\frac{t}{R} \right)^2 \right] \quad \text{en que } k_r \text{ representa a los coeficientes aplicados anteriormente.}$$

Como los momentos máximos se producen en la parte recta, este coeficiente de reducción no afectará al diseño.

2. Dimensionamiento de la sección.

Tomamos un ancho de 5" (cepillado); $b = 11,5$ cm. El momento máximo que se produce en el punto VII, es $M = 3330$ kg-m. La altura necesaria h_{nec} :

$$h_{nec}^2 = \frac{6M}{b\sigma} = \frac{6 \times 333000}{11,5 \times 120}$$

$$\text{de donde } h_{nec} = 38 \text{ cm.}$$

Tomando 18 lamelas de 2,2 cm: $h_{efect} = 40$ cm. Las especificaciones finlandesas aceptan $\left(\frac{h}{b}\right)$ máximo = 6, a la vez que las americanas indican $\left(\frac{h}{b}\right)$ máximo = 4, con el fin de evitar el pandeo lateral. En este caso:

$$\frac{h}{b} = \frac{40}{11,5} = 3,5$$

La sección cumple con ambas especificaciones. Esta sección deberá mantenerse en todo el marco (véase distribución de momentos de flexión en tabla 1).

Por tratarse de un cálculo aproximado, no se ha tomado en cuenta el efecto de compresión longitudinal sobre el eje del marco, y, en consecuencia, no se ha dimensionado a flexión compuesta.

3. Verificaciones.

a) Esfuerzo de corte en la base (A): La reacción horizontal vale 1.440 kg. La componente normal al eje del marco es de 1.300 kg.

$$\tau_{//} = 1,5 \frac{Q}{bh} = 1,5 = \frac{1300}{11,5 \times 40}$$

$$\tau_{//} = 4,2 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{//} \text{ adm.}$$

b) Compresión normal a las fibras en la parte curva: De acuerdo con las especificaciones escandinavas, si el momento de flexión solicitante produce tracción en la parte convexa de la curva (momento negativo), se

acepta el esfuerzo unitario admisible indicada; pero en el caso de que se induzca tracción en la parte cóncava del elemento curvo (momento positivo), el esfuerzo unitario admisible será $1/3$ del esfuerzo unitario admisible al cizalle paralelo a las fibras.

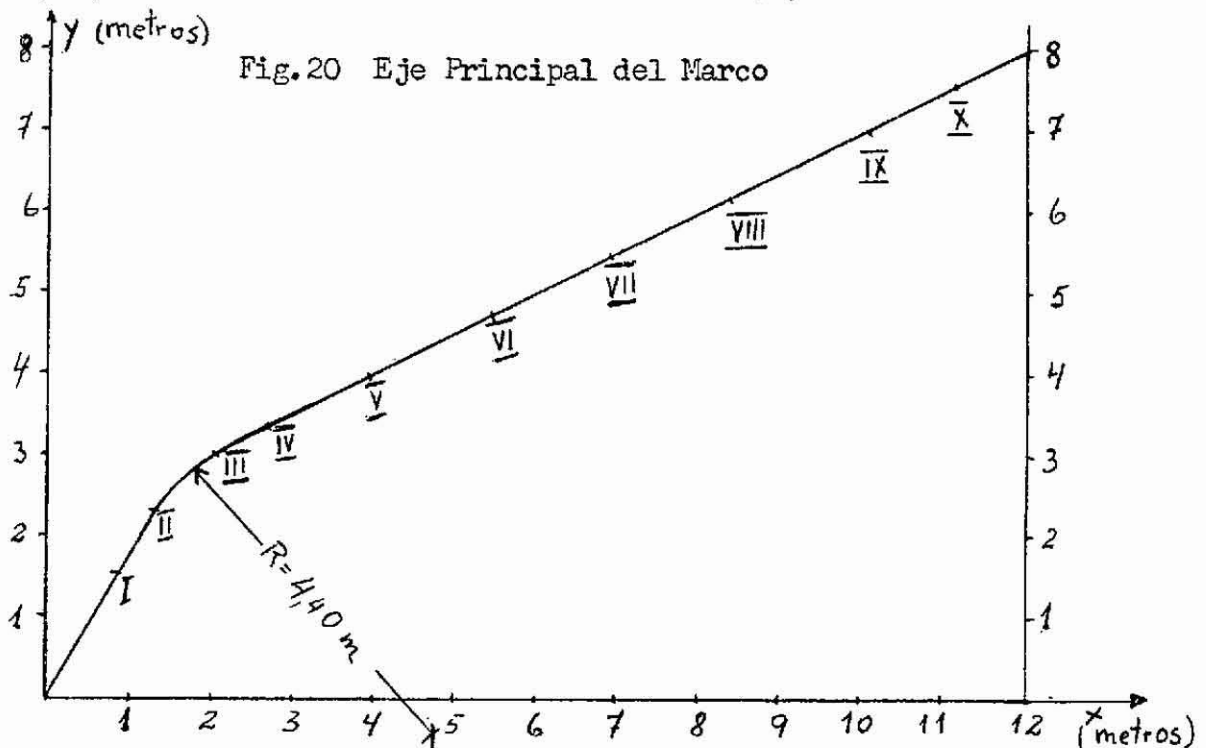
En este caso, el efecto más desfavorable se produce en el punto IV:

$$M = 2280 - 960 = +1320 \text{ kgm}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{3M}{2Rbh} = \frac{3 \times 132000}{2 \times 440 \times 11,5 \times 40}$$

$$\sigma_{\perp} = 1 \text{ kg/cm}^2 < \frac{1}{3} \sigma_{\parallel \text{adm.}}$$

El marco, en consecuencia, deberá tener una sección uniforme de $11,5 \times 40$ (18 lamelas de madera aserrada de $1" \times 5"$).



Pto N° I II III IV V VI VII VIII IX X

X	0,70	1,10	1,60	2,25	3,50	5,00	6,50	8,00	9,50	10,75
Y	1,25	2,00	2,65	3,25	3,95	4,65	5,40	6,10	6,80	7,40

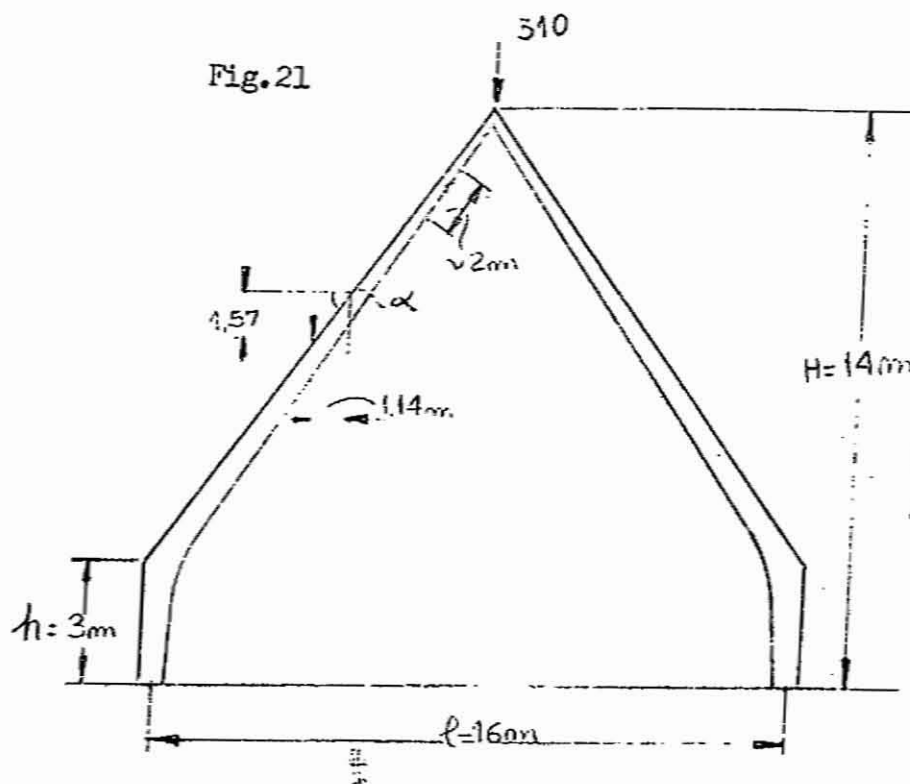
ESCALA: 1 cm : 1m

8. CALCULO DE UN MARCO TRIARTICULADO DE MADERA LAMINADA CON PENDIENTE DE TECHO FUERTE (MARCO TUDOR).

8.1. Generalidades.

A. Dimensiones

Fig.21



$$\operatorname{tg} \alpha = 1,375$$

$$\alpha = 54^{\circ},0.$$

Las costaneras se ubican a una distancia de aprox. 2 m entre sí.

$$\operatorname{sen} \alpha = 0,810$$

$$\operatorname{cos} \alpha = 0,590$$

Los marcos irán espaciados en 4 m.

B. Cargas

1. Peso propio: Techo + costaneras + marcos = 40 kg/m^2

2. Viento: $p = Cq$

p : carga del viento por unidad de superficie;

C : factor de forma; depende de la forma geométrica de la estructura, de si esta es abierta o no y de la cara sobre la cual actúa el viento. Este coeficiente puede ser positivo, originando entonces presiones, o negativo; dando lugar en ese caso a succiones;

q : presión básica del viento, definida en la norma Inditecnor 63-8, Considerando una presión básica de 75 kg/m^2

a) Barlovento:

$$\text{Techo: } C_t = 0,02 \alpha - 0,4$$

$$C_t = 0,02 \times 54 - 0,4 = 0,68$$

$$p = 0,68 \times 75 = 51 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pared: } C_p = 0,90$$

$$p = 0,9 \times 75 = 67,5 \text{ kg/m}^2$$

b) Sotavento:

$$\text{Techo y Pared } C = -0,4$$

$$p = -0,4 \times 75 = -30 \text{ kg/m}^2$$

8.2. Solicitaciones

A. Peso propio

Carga por unidad de largo = $40 \times 4 = 160 \text{ kg/ml}$

Carga por costanera $P = 160 \times 1,94 = 310 \text{ kg}$ (Distancia entre costaneras 1,94).

1. Reacciones

a) Vertical $V_a = V_b = 2.170 \text{ kg}$

b) Horizontal $H_a = H_b = 620 \text{ ''}$

2. Esfuerzos Axiales

'Se determinarán gráficamente (Ver Fig. 22)

3. Momentos de flexión

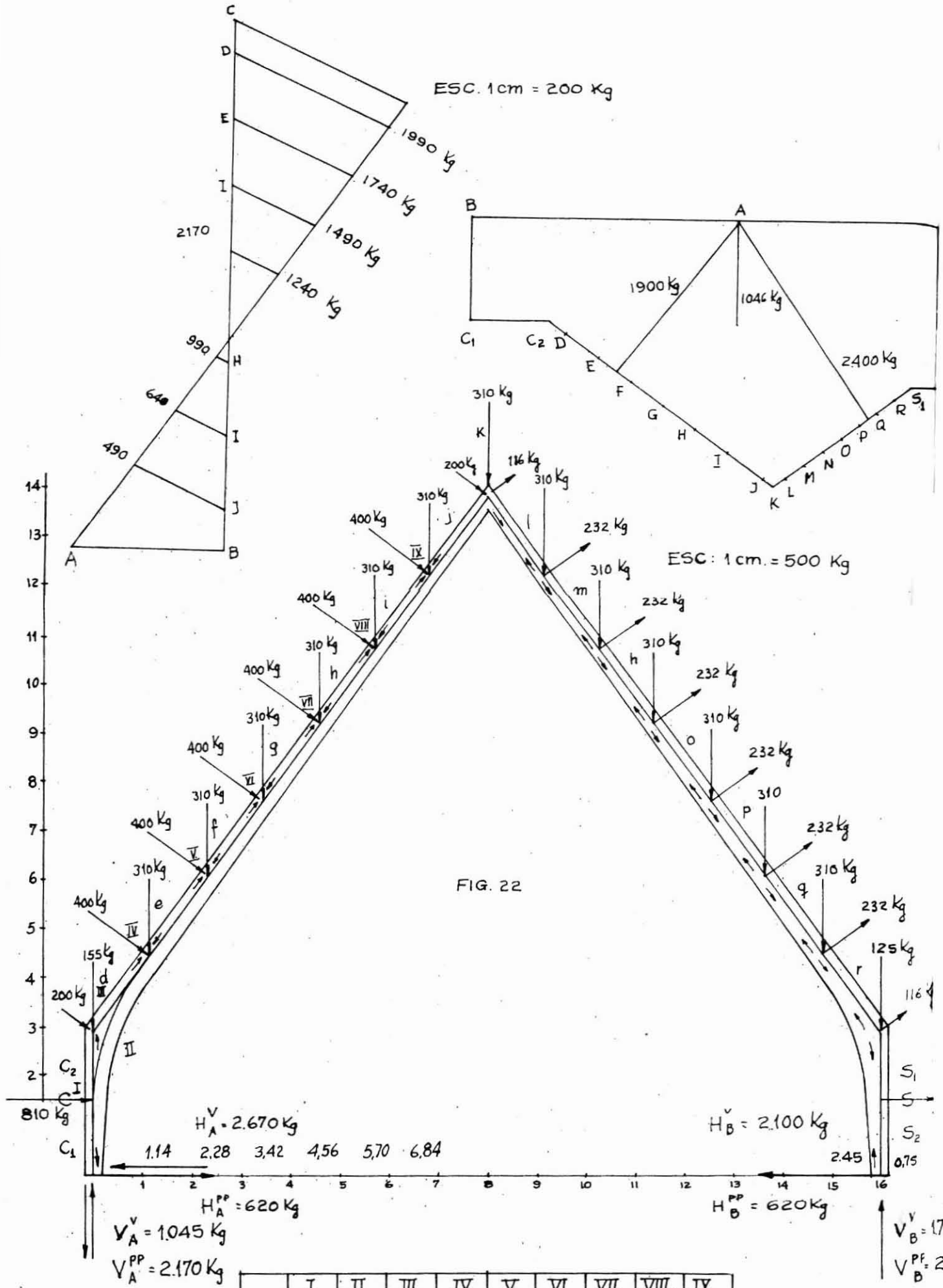
Signo + cuando se produce tracción en la fibra interior del marco. El momento en un punto cualquiera de coordenadas (x,y) vale,

$$M = (V_a - p/2) x - H_a y - P a_n$$

$$a = 1,14 \text{ m}$$

$$V_a - P/2 = 2015$$

$$\Sigma = H_a y + P a_n$$



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
X	0	0.2	0.6	1.14	2.28	3.42	4.56	5.70	6.84
Y	1.70	2.65	3.90	4.55	6.10	7.70	9.30	10.90	12.50

Pto. Nº	2015 x +	620 y -	310 (n 1,14) -	Σ -	M kgm	Pto. Nº
I	0	1053	0	1053	- 1053	I
II	403	1645	0	1645	- 1242	II
III	1210	2420	0	2420	- 1210	III
IV	2300	2820	0	2820	- 520	IV
V	4600	3790	354	4144	+ 456	V
VI	6900	4780	1060	5840	+ 1060	VI
VII	9200	5760	2120	7880	+ 1320	VII
VIII	11500	6750	3540	10290	+ 1210	VIII
IX	13800	7750	5310	13060	+ 740	IX

B. Acción del Viento

Tipo de carga ubicación	Presión kg/m ²	Carga/ml kg/ml	Carga/costanera Total en el muro kg
Techo Barlovento	+ 51	204	400 kg/cost.
Techo Sotavento	- 30	120	232 kg/cost.
Muro Barlovento	+ 67,5	270	810 kg/tot.
Muro Sotavento	- 30	120	360 kg/tot.

1. Reacciones

a) Verticales

Momentando con respecto a B:

$$V_a = - 1045 \text{ kg}$$

Momentando con respecto a A:

$$V_b = + 1710 \text{ kg}$$

b) Horizontales

Momentando con respecto a C:

$$H_a = 2.670 \text{ kg}$$

$$H_b = 2.100 \text{ kg}$$



2. Esfuerzos Axiales

Determinados gráficamente en la Fig. 23

3. Momentos de flexión

Pto. Nº	H.y. (+)	V.x. (-)	$3q(y-1,5)$ $q=270 \text{ kg/ml}$ (-)	Cargas Costa- neras (-)	(2)+(3) + (4) (-)	Momentos kgm (1)+(2)+(3) +(4)	Pto. Nº
	(1)	(2)	(3)	(4)			
a) <u>Lado izquierdo del marco</u>							
I	4.540	0	160	0	160	+ 4.380	I
II	7.070	210	930	0	1.140	+ 5.930	II
III	10.400	630	1.940	220	2.790	+ 7.610	III
IV	12.150	1.190	2.470	380	4.040	+ 8.110	IV
V	16.300	2.380	3.720	1.550	7.650	+ 8.650	V
VI	20.600	3.580	5.020	2.720	11.320	+ 9.280	VI
VII	24.850	4.760	6.310	6.200	17.270	+ 7.580	VII
VIII	20.100	5.950	7.610	9.700	23.260	+ 5.840	VIII
IX	33.400	7.150	8.900	14.000	30.050	+ 3.350	IX
b) <u>Lado derecho del marco</u>							
	(-)	(+)	$q=120$ (+)	(+)	(+)		
I	3.570	0	70	0	70	- 3.500	I
II	5.560	340	410	0	750	- 4.810	II
III	8.190	1.030	860	130	2.020	- 6.170	III
IV	9.550	1.950	1.100	220	3.270	- 6.280	IV
V	12.800	3.900	1.660	900	6.460	- 6.340	V
VI	16.200	5.850	2.230	2.020	10.100	- 6.100	VI
VII	19.530	7.800	2.800	3.500	14.100	- 5.430	VII
VIII	22.850	9.750	3.380	5.620	18.750	- 4.100	VIII
IX	26.250	11.700	3.960	8.100	23.760	- 2.490	IX

C. Resumen de solicitudesCuadro N° 1

Pto. N°	Solicitaciones debidas a						Solicitaciones Máximas		Pto. N°
	Peso Propio		Acción del viento				M kgm	N kg	
			Lado de presión		Lado de succión				
	M kgm	N kg	M kgm	N kg	M kgm	N kg	M kgm	N kg	
A o B	0	- 2.170	0	+ 1.045	0	- 1.710	0	- 3.880	A o B
I	- 1.053	- 2.170	+ 4.380	+ 1.045	- 3.500	- 1.710	- 4.550	- 3.880	I
II	- 1.242	- 2.170	+ 5.930	+ 1.900	- 4.810	- 2.400	- 6.050	- 4.570	II
III	- 1.210	- 1.990	+ 7.610	+ 1.900	- 6.170	- 2.400	- 7.380	- 4.390	III
IV	- 520	- 1.740	+ 8.110	+ 1.900	- 6.280	- 2.400	+ 7.590	+ 160	IV
V	+ 456	- 1.490	+ 8.650	+ 1.900	- 6.340	- 2.400	+ 9.110	+ 410	V
VI	+ 1.060	- 1.240	+ 9.280	+ 1.900	- 6.100	- 2.400	+ 10.340	+ 660	VI
VII	+ 1.320	- 990	+ 7.580	+ 1.900	- 5.430	- 2.400	+ 8.900	+ 910	VII
VIII	+ 1.210	- 640	+ 5.840	+ 1.900	- 4.100	- 2.400	+ 7.050	+ 1.260	VIII
IX	+ 740	- 490	+ 3.350	+ 1.900	- 2.490	- 2.400	+ 4.090	+ 1.410	IX
C	0		0		0		0		C

Cuadro N° 2

Pto. N°	M kgm	N kg
IV	- 6.800	- 4.140
V	- 5.880	- 3.890
VI	- 5.040	- 3.640
VII	- 4.110	- 3.390
VIII	- 2.890	- 3.040
IX	- 1.650	- 2.890

En el cuadro N° 1 aparece la combinación de sollicitaciones que hace máximos los momentos flectores, en el N° 2 la que hace máximos esfuerzos normales.

M : momento de flexión, + cuando provoca tracción en la fibra interior del marco

N : esfuerzo normal, + tracción

8.3. Diseño

1. Dimensiones de la sección: Haciendo un cálculo aproximado para el momento máximo de flexión producido: $M = 10.340 \text{ kg-m}$

$\sigma_{adm} = 120 \text{ kg/cm}^2$. Elijamos $b = 14 \text{ cm}$

$$120 = \frac{1034000 \times 6}{14 \times h^2}$$

$$h^2 = 3.650 \text{ cm}^2$$

$$h = 60,5 \text{ cm}$$

Tomemos, por ejemplo, 28 lamelas de 2,2 cm (1") de espesor, con lo que $h = 61,6 \text{ cm}$

$$\frac{h}{b} = \frac{61,6}{14} = 4,4 < 6 \text{ (Satisface las especificaciones finlandesas)}$$

2. Fatigas admisibles:

a) Fatigas admisibles básicas:

$$\sigma_{adm} \text{ flexión} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{adm} \text{ compr} // = 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{adm} = 8 \text{ kg/cm}^2$$

b) Coficiente de amplificación proveniente del uso de madera laminada: 1,3 en los casos de flexión y compresión paralela a las fibras y 1,2 en el caso de cizalle paralelo a las fibras.

c) Coficiente de amplificación proveniente de considerar la combinación de cargas permanentes y del viento: 1,33 en los casos de flexión y cizalle paralelo a las fibras. En el caso de compresión paralela a las fibras, de acuerdo con las espe-

cificaciones finlandesas, este coeficiente dependerá del coeficiente de esbeltez.

d) Reducción de la fatiga de flexión para la zona curva:

$$k = 1 - 2.000 \cdot \left(\frac{t}{R}\right)^2$$

$$k = 1 - 2.000 \times \left(\frac{2,2}{440}\right)^2$$

$$k = 0,95$$

e) Fatigas admisibles definitivas: El coeficiente de amplificación total, según las normas finlandesas, no deberá exceder de 1,6. Sin embargo, en nuestro caso en que el efecto del viento es tan grande comparado con el del peso propio, aceptaremos la combinación de los coeficientes indicados en los párrafos anteriores.

Flexión en parte recta: $\sigma_{adm} = 1,3 \times 1,33 \times 70 = 120 \text{ kg/cm}^2$

Flexión en parte curva: $\sigma_{adm} = 120 \times 0,95 = 114 \text{ kg/cm}^2$

Cizalle paralelo a las fibras: $\tau_{adm//} = 8 \times 1,2 \times 1,33 = 13 \text{ kg/cm}^2$

Compresión paralela a las fibras: $\sigma_{adm \text{ comp.}} = 70 \times 1,3 = 91 \text{ kg/cm}^2$

3. Verificaciones

a) Flexión compuesta: En este caso, el pandeo lateral deja de ser crítico debido a la acción de las costaneras. Debemos, pues, preocuparnos del pandeo en el plano del marco. Las normas finlandesas recomiendan la siguiente fórmula de verificación:

$$\frac{\sigma M}{\sigma_{adm. flexión}} + \frac{\sigma N}{\sigma_{adm. pandeo}} \leq 1$$

en que: σM : fatiga de flexión debida al momento en la sección

σN : fatiga de compresión sin considerar el pandeo.

Esta fórmula corresponde a la indicada por Inditecnor para el cálculo de las construcciones de acero.

De los cuadros N° 1 y N° 2 se observa que el punto de máxima sollicitación a flexión compuesta (con compresión) es el III.

$$M = 7.380 \text{ kgm}$$

$$N = 4.390 \text{ kg}$$



Fatiga máxima por flexión

$$\sigma_M = \frac{6 \times 7.380}{14 \times 61,2} \cdot 2 = 83,2 \text{ kg/cm}^2$$

Fatiga por compresión sin considerar pandeo

$$\sigma_N = \frac{4390}{14 \times 616} = 5,1 \text{ kg/cm}^2$$

Fatiga admisible por flexión: El punto III se encuentra ubicado en la zona curva, por lo que $\sigma_{\text{adm flexión}} = 114 \text{ kg/cm}^2$

Fatiga admisible por compresión con pandeo: Longitud de pandeo igual a medio arco (se tomó esta longitud por tratarse de un cálculo aproximado, a pesar de que la compresión es variable a lo largo del eje del arco)

$$l_p = 16,50 \text{ m}$$

$$\text{Radio de Giro } i = \sqrt{\frac{I}{\Omega}} = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{61,6}{\sqrt{12}} = 17,80 \text{ cm}$$

$$\text{Esbeltez } \lambda = \frac{l_p}{i} = \frac{1650}{17,8} = 93$$

De acuerdo a la norma DIN 1052, obtenemos para esta esbeltez un coeficiente de pandeo $w = 2,63$, con lo cual

$$\sigma_{\text{adm. pandeo}} = \frac{91}{2,63} = 34,6 \text{ kg/cm}^2$$

Aplicando la fórmula de verificación se obtiene:

$$\frac{83,2}{114} + \frac{5,1}{34,6} = 0,730 + 0,147 = 0,877 < 1$$

b) Esfuerzo de corte. El esfuerzo de corte máximo en la base del marco es: $2.100 \div 620 = 2.720 \text{ kg}$

$$\tau_{//} = 1,5 \frac{Q}{bh} = 1,5 \cdot \frac{2.720}{14 \times 61,6}$$

$$\tau_{//} = 4,7 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{// \text{ adm}}$$

c) Compresión normal en la parte curva. - En general este efecto es muy pequeño como para tomarlo en cuenta.

4. Conclusión: El marco deberá tener una sección transversal uniforme constituida por 28 lamelas de $2,2 \times 14 \text{ cm}$ ($1'' \times 6''$); las vigas de techumbre deberán tener una contraflecha constructiva.

9. USO DE MADERA LAMINADA EN LA CONSTRUCCION DE BARCOS.

9.1. Generalidades.

Para la construcción de barcos de madera se necesita madera de buena calidad y de grandes dimensiones, tanto en longitud como en grosor. Las dificultades para obtener la madera adecuada para este objeto han dado como resultado que ciertas partes de los barcos se fabriquen con madera laminada. Este desarrollo fue fomentado especialmente durante la Segunda Guerra Mundial, porque fue necesario construir grandes cantidades de barcos de madera para usos bélicos. En esa oportunidad se inició la aplicación de adhesivos que permiten obtener un encolado completamente resistente a la humedad.

En Escandinavia y, especialmente, en Finlandia se construyeron grandes cantidades de barcos de madera de diferentes tipos, en los cuales se usó una cantidad considerable de elementos laminados, como guías y sobreguías, cuadernas, baos, rodas, codastes, verdugetes, además de los mástiles y, especialmente, partes curvas.

lamentación internacional sobre el uso de madera laminada en la construcción de barcos.

En varios países existen reglamentos especiales sobre la construcción de barcos. Con el fin de poder clasificar un barco para obtener un seguro marítimo es necesario seguir alguno de estos reglamentos. Sin embargo, el único de estos reglamentos que contiene reglas detalladas, aplicables a barcos de madera con elementos estructurales laminados, es el noruego "Det Norske Veritas". Los párrafos que siguen están basados en este reglamento.

9.3. Elementos estructurales que se prefabrican con madera laminada.

Los elementos estructurales de un barco de madera son diseñados y dimensionados, basándose más bien en una larga experiencia que en cálculos científicos. Como el objetivo de este trabajo no es referirse precisamente a los cálculos, queremos solamente mencionar que, según los principios seguidos por "Det Norske Veritas", se pueden fabricar las diferentes partes estructurales de un barco de madera laminada en forma tal, que la sección transversal de las mismas puede ser reducida en un 15%, respecto a la sección de una pieza fabricada de madera maciza. Este reglamento contiene informaciones

detalladas en forma de reglas y tablas que permiten determinar las dimensiones de todas las partes estructurales de un barco de madera.

9.4. La madera y su tratamiento.

La madera aserrada que se use para fabricar madera laminada debe ser clasificada cuidadosamente; sin embargo, primero es necesario verificar si la especie sirve para ser encolada con los adhesivos que se utilizan en la laminación. Además, estas reglas de clasificación tienen que basarse en estudios sobre la resistencia mecánica de la madera.

Quando se usan maderas duras es de especial importancia conocer bien las características de estas especies para el encolado mediante ensayos en un laboratorio especializado.

Es necesario secar la madera hasta obtener un contenido de humedad entre 10 y 15 %. Las maderas a usarse en una misma pieza laminada deberán tener una mínima variación del contenido de humedad.

Si la madera que se va a usar no tiene duración natural, es necesario conocer su comportamiento para la impregnación, la que es preciso efectuar antes o después de la laminación.

9.5. Adhesivos.

El adhesivo es uno de los detalles más importantes en la fabricación de madera laminada para barcos. Actualmente existen en el mercado una gran cantidad de adhesivos. Algunas veces sus características, dadas por los fabricantes, no son muy correctas, por lo tanto, la selección de adhesivos aptos para la laminación de madera para barcos debe hacerse muy cuidadosamente, en base a informaciones imparciales dadas por laboratorios serios y, además, es necesario hacer experimentos de encolado con las especies de madera que se van a usar. La experiencia que se tiene hasta ahora en Finlandia ha demostrado que el único adhesivo completamente apto y seguro para la fabricación de madera laminada para barcos es el "resorcinol", que es de alta resistencia a la humedad. Varios fabricantes importantes de adhesivos: "Borden", "Hoechst", "Koppers", "Bakelit", fabrican este tipo de adhesivo usando nombres comerciales diferentes. El "Norske Veritas" no se pronuncia por un adhesivo determinado, pero da normas detalladas sobre la inspección del encolado.

Esta inspección es muy rigurosa, las muestras encoladas tienen que ser cocidas en agua 2 veces durante 3 horas cada vez y, además, deben ser secadas entre cada operación. No se acepta que las muestras se partan en las juntas. También se hace una prueba de la resistencia de las juntas en muestras mojadas y no se acepta tampoco que se debilite el encolado. Como regla general se puede mencionar que es necesario seguir cuidadosamente las instrucciones dadas por los fabricantes de adhesivos, debiendo destacarse que no se permite agregar ningún otro material no definido por el fabricante.

De cada partida de adhesivos se hacen muestras de encolado. Del 25 % de las construcciones laminadas se hacen muestras para cocerlas y para determinar su resistencia mecánica. La resistencia al cizalle de una muestra después de 3 horas de cocción, estando completamente mojada, tiene que ser por lo menos de 20 kg/cm². Si una segunda muestra no alcanza esta resistencia, es necesario, según "Norske Veritas", rechazar toda la madera laminada fabricada de esa partida.

9.6: Equipo necesario para la laminación y organización del taller.

Las maquinarias, equipo y talleres que se necesitan para la fabricación de madera laminada para barcos dependen, naturalmente, de la capacidad deseada; sin embargo, se necesita un equipo básico para cualquier producción, con el fin de obtener madera laminada de calidad aceptable.

A continuación mencionaremos las exigencias mínimas para una producción en pequeña escala.

9.6.1. Equipo y maquinaria.

- 1 cepilladora plana para cepillar la madera aserrada, hacer la terminación de las uniones y, además, para la terminación de la madera laminada;
- 1 sierra buincha para la fabricación de las uniones y para la terminación de las maderas laminadas;
- 1 encoladora y 1 baño para enfriar el adhesivo (agua y hielo), lo cual permitirá tener el adhesivo bajo 10°C;
- las prensas y herramientas neumáticas para el encolado de madera laminada recta y otro equipo para madera laminada curva;

- herramientas portátiles, una sierra circular y una cepilladora portátil, ambas eléctricas, para la terminación de la madera laminada;
- equipo de control para determinar las dimensiones de la madera laminada, contenido de humedad y, en ciertos casos, determinar la resistencia de las juntas;
- equipo de transporte interno.

En el Apéndice se incluye un cálculo aproximado sobre los costos mínimos de equipo necesario para fabricar madera laminada para la construcción de barcos en escada reducida.

9.6.2. Superficie e instalaciones. Para la fabricación se necesita como mínimo 200 y 300 metros cuadrados de superficie de talleres, dependiendo del tamaño de los barcos construidos y de la capacidad de producción deseada. Aproximadamente un quinto de esta superficie se necesita para una cámara de "climatización" en que se puedan secar las piezas ya encoladas a temperaturas más altas.

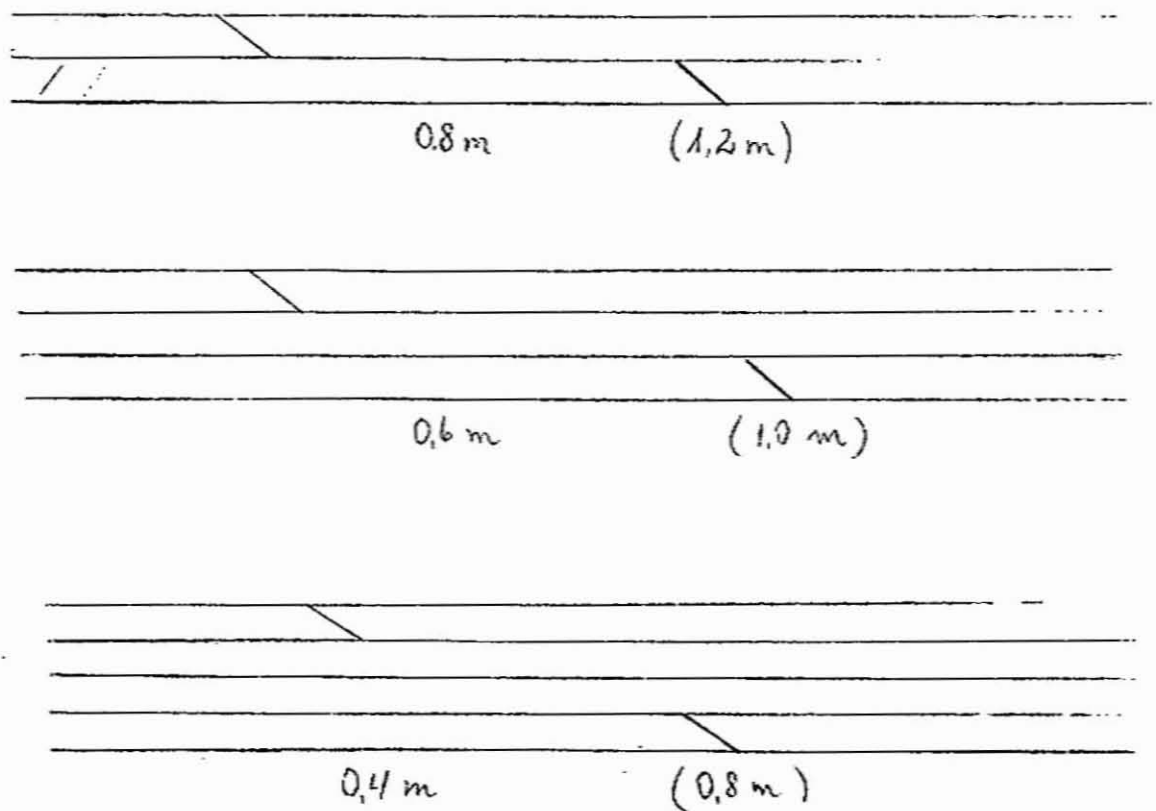
9.7. Fabricación.

Según "Norske Veritas", no se permite el uso de lamelas de madera de un espesor mayor de 20 mm. cuando se utilizan especies duras o 50 mm. de especies blandas (coníferas). Sin embargo, en Finlandia se ha llegado a la conclusión de que en *Pinus sylvestris* no es conveniente usar lamelas sobre 32 mm. de espesor. Para la fabricación de piezas curvas, el "Norske Veritas" recomienda los siguientes espesores, según se trate de especies duras y blandas:

Maderas duras (encina)		Maderas blandas (pino)	
Espesor máximo de cada lamela	Radio mínimo de curvatura	Espesor máximo de cada lamela	Radio mínimo de curvatura
6 mm	45 cm	6 mm	75 cm
10 mm	75 cm	10 mm	135 cm
15 mm	140 cm	15 mm	240 cm
30 mm	200 cm	20 mm	325 cm
		25 mm	450 cm

Para hacer las uniones de las lamelas es necesario usar una unión que tenga una superficie dos veces mayor que la sección de la lamela. El "Horske Veritas" no acepta las uniones dentadas (finger joints). En cuanto a la ubicación de las uniones, existen reglas detalladas. Las siguientes ilustraciones (fig. 23) indican las distancias mínimas permitidas entre las uniones de dos lamelas continuas; entre dos lamelas separadas por una lamela sin unión y, por último, entre dos láminas, separadas por dos lamelas sin uniones. Las primeras cifras son aplicables para madera laminada curva y las cifras entre paréntesis para madera laminada recta; sin embargo, en ningún caso se permite tener en un largo de 30 cm. de la pieza laminada un número de uniones mayor que un cuarto del número de lamelas.

Fig.23



Es necesario que la aplicación de los adhesivos se efectúe mecánicamente, usando una encoladora y siguiendo las instrucciones del fabricante del adhesivo. La determinación de la cantidad de adhesivos por unidad de superficie encolada es muy importante y está basada en las instrucciones dadas por los fabricantes y, además, en las experiencias realizadas con el mismo adhesivo y especie de madera. El consumo de adhesivos para maderas duras es menor que para maderas blandas.

En los talleres de Finlandia se consumen alrededor de 450 gramos de adhesivo resorcinol por metro cuadrado de superficie encolada. La mitad de esta cantidad de adhesivo se extiende a cada una de las superficies que se van a encolar. Las lamelas tienen que estar muy bien cepilladas y ser del mismo espesor. Las superficies deberán estar muy limpias, sin aceites, basuras o polvo. Tampoco se permite escribir con lápiz sobre las superficies, lo que muy a menudo suele ocurrir. Conviene cepillar las lamelas momentos antes de ser encoladas.

Es necesario encolar y aplicar presión a las piezas laminadas tan rápidamente como sea posible. Para este fin se recomienda usar preferentemente llaves neumáticas.

Para la fabricación de piezas rectas se recomienda usar una plataforma muy firme, preferentemente de concreto y una prensa de 25 cm. Para la fabricación de piezas curvas se recomienda una plancha perforada horizontal o vertical de acero, de un tamaño de 2,5 por 6 metros. En esta plancha se fijan con pernos las prensas, con las cuales se forman las líneas de madera laminada que se va a fabricar, según sea su diseño.

Después de su terminación, las piezas laminadas pueden ser tratadas con impregnantes, en los cuales se mezclan ceras adecuadas para evitar que la superficie se agriete. Este tratamiento se puede hacer en un estanque, en el que se sumerge la pieza laminada completa. Por último, las piezas laminadas deben ser almacenadas sobre superficies rectas y cubiertas con materiales que eviten cambios en su contenido de humedad.

9.8. Control de fabricación.

La inspección de la fabricación es muy importante. Como ya se ha

mencionado, el reglamento "Norske Veritas" insiste en la inspección del encolado mediante muestras. Todos los resultados de los controles son anotados en libros que están a disposición de los inspectores del registro de los barcos.

Cada pieza laminada debe numerarse, de preferencia mediante pirograbado. En los libros de fabricación y control hay anotaciones detalladas sobre: cuando fue fabricada y encolada, impregnada, informaciones sobre el adhesivo, la temperatura en el taller y del adhesivo, contenido de humedad de la madera, la madera en que fue aplicada la presión y las características relativas al tiempo y temperatura del endurecimiento del adhesivo, como también el nombre o los nombres del personal responsable de la fabricación.

9.9. Consideraciones económicas.

Desde la II Guerra Mundial se ha aplicado madera laminada en escala industrial en muchos países, en la construcción de barcos de hasta 50 metros de eslora. En algunos casos se han utilizado casi exclusivamente estructuras laminadas. Sin embargo, los tipos de embarcaciones en que se ha usado principalmente esta construcción han sido para usos militares, motivado esto, en parte, por los costos de laminación, ya que las especificaciones que rigen la madera y el encolado son sumamente estrictas.

Para las condiciones europeas y norteamericanas se considera, generalmente, que los costos de mano de obra y materiales hacen de la laminación un método poco económico para su aplicación en la construcción de barcos pesqueros. Sin embargo, si se puede hacer especificaciones menos rigurosas, se disminuyen los costos de los adhesivos y se aborda una fabricación en serie, este proceso resultaría mucho más económico y su aplicación podría ser posible para este tipo de construcciones.

Por otra parte, la dificultad de obtener madera en dimensiones y calidades adecuadas para la construcción de barcos hacen cada vez más propicio el campo de aplicación de la madera laminada, siendo este argumento también válido para Chile.

En todo caso, es recomendable que todo constructor progresista tenga presente este tipo de construcción y haga los ensayos pertinentes con ma-

deras de la zona, para determinar en forma más exacta cuales son las posibilidades locales para su aplicación.

9.10. Apéndice.

Lista de equipo y maquinaria necesarios para la fabricación en pequeña escala de elementos de madera laminada para la construcción de barcos.

Item	Descripción	Costo aproximado U. S. \$
1	Secador de madera (se supone que existe un secador disponible)	-
2	Cepilladora regruesadora (plana) con avance por rodillos	2.500
3	Sierra huincha sencilla	2.000
4	Encoladora	1.000
5	Equipo de prensas para la fabricación de madera laminada	3.500
6	Compresor de aire y llaves neumáticas para accionar las prensas	3.000
7	Herramientas portátiles para terminación (sierra circular, cepilladora)	500
8	Equipo para una cámara de climatización	700
9	Equipo de medición y control de calidad	400
10	Imprevistos y no especificados	1.400
	TOTAL	<u>US\$ 15.000</u>

Nota: Los costos son en puertos chilenos sin considerar los derechos de aduana (US\$ C.I.F.)



10. APLICACION DE MADERA LAMINADA EN LA CONSTRUCCION DE BARCOS EN CHILE.

En Chile se realizan construcciones navales de madera en varios astilleros. Se trata principalmente de embarcaciones pesqueras y también algunos cargueros.

Estas embarcaciones, construídas mediante métodos convencionales, utilizan preferentemente madera maciza de roble maulino y eucalipto en la zona de Constitución, y coigüe, roble y alerce en Valdivia.

Algunos de los astilleros que realizan construcciones tradicionales de madera tienen ciertas facilidades en cuanto a espacio y maquinarias que permitirían, sin grandes esfuerzos, fabricar piezas laminadas para los barcos.

El mercado interno chileno, para las embarcaciones de madera, incluyendo las embarcaciones pesqueras, es limitado. Esto, unido al hecho de que las disponibilidades de madera pueden ser satisfactorias, no hacen recomendable introducir, por ahora, el uso de madera laminada en la construcción de barcos en escala comercial. Su aplicación demandaría fuertes inversiones a los astilleros, aparte de que se necesitaría personal técnico muy capacitado.

La aplicación de madera laminada podría realizarse en reducida escala para la fabricación de ciertos elementos difíciles de construir y de costo subido.

Con el fin de poder emplear este sistema de construcción es necesario que se realicen ensayos con madera laminada, utilizando maderas nativas, con y sin preservativos y métodos y adhesivos modernos.



11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LOS ASESORES.

- El pino insigne (*Pinus radiata*) ha sido la única especie de madera utilizada para hacer laminaciones y parece cumplir con las exigencias del propósito. Es una madera de rápido crecimiento y bajo precio.

- Sus propiedades de resistencia no son de alta calidad (comparables a las maderas escandinavas de 3^a clase), pero aplicando fatigas admisibles relativamente bajas (70 kg/cm^2), es posible usar esta madera sin ninguna duda.

- Los nudos del pino insigne son firmes y le dan una apariencia atractiva a las estructuras laminadas.

- En Chile, exceptuando la zona más austral y las regiones cordilleranas, no existen cargas de nieve, por lo que la construcción es bastante liviana. Esto hace posible que las construcciones en madera de pino insigne aserrada y laminada puedan competir con otros materiales de construcción (especialmente el acero) en edificios de gran luz.

- El "Sistema de Control para Estructuras Laminadas Encoladas", que no ha sido necesario en los países escandinavos, puestos que estos tienen larga tradición en ingeniería de madera, es recomendable para Chile. Este sistema no deberá ser burocrático, pudiendo bastar un certificado de calidad expedido por el IDIEM.

Deberá garantizarse que estas construcciones sean de buena calidad e impedir que se fabriquen estas estructuras por individuos irresponsables.

- Las "Especificaciones de Diseño para Construcciones de Madera Laminada Encolada" que aparecen en esta publicación pueden ser empleadas por algún tiempo.

- Es necesario acelerar el desarrollo de la ingeniería estructural de maderas laminadas en Chile. Es recomendable solicitar un consultor calificado de FAO.

- Son urgentes las reglas de clasificación por resistencia para madera aserrada de pino insigne.

Debido a que un defecto típico del *Pinus radiata* son los nudos, los ensayos a escala natural son absolutamente necesarios.



- No se conoce el comportamiento del pino insigne en uniones clavadas, apernadas o conectadas. Con ayuda del peso específico de la madera se puede estimar la carga de cizalle (carga lateral) para diferentes tipos de conectores y la fuerza de extracción para clavos.

Estas estimaciones, sin embargo, no tienen una base confiable para las especificaciones de diseño para estructuras de madera.

Es necesario preparar un programa especial de ensayo de uniones de diversos tipos.

- Con los datos obtenidos en los ensayos mencionados anteriormente, se pueden preparar las Especificaciones para Estructuras de Madera.

- En el presente no se puede recomendar el uso de madera laminada en construcción de embarcaciones. Sin embargo, es conveniente que se efectúen experiencias de encolado en forma inmediata. Este programa de investigación deberá contemplar, por lo menos, las siguientes materias:

11.1. Ensayos corrientes de adhesivos.

Comparación entre caseína, urea-formaldehído, resorcinol-formaldehído y resinas epóxicas.

11.2. Fabricación de elementos.

Diseño y fabricación de cuadermas para botes pequeños.

11.3. Ensayos con elementos fabricados.

Hacer ensayos con elementos fabricados, usando los adhesivos nombrados anteriormente y sometiéndolos a las siguientes condiciones:

- a) Interior
- b) Exposición exterior al sol y cambios climáticos
- c) Inmersión en agua

Habrá que hacer un examen a intervalos mensuales de estas probetas y un informe de sus condiciones.

11.4. Efectos después de tratamientos de preservación.

Repetición de los ensayos normales de los adhesivos nombrados anteriormente, usando madera tratada como sigue:

- a) Con creosota
- b) Con preservativos a base de cobre, cromo y arsénico.

