

MADERA LAMINADA EN ARQUITECTURA

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA

DE LA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

DE LA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

CESAR ALFREDO MORALES MANSILLA

PREVIO A OPTAR AL TITULO DE

ARQUITECTO

GUATEMALA, JUNIO 1987

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

D. L.  
02  
T(345)

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA

DECANO:	ARQ. EDUARDO AGUIRRE CANTERO
VOCAL PRIMERO:	ARQ. VICTOR MEJIA RODAS
VOCAL SEGUNDO:	ARQ. HECTOR CASTRO MONTERROSO
VOCAL TERCERO:	ARQ. RAFAEL HERRERA
VOCAL CUARTO:	BR. JORGE SANABRIA
VOCAL QUINTO:	BR. JUAN JOSE RODAS
SECRETARIO	ARQ. HEBER PAREDES NAVAS

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN PRIVADO DE E. P. S

DECANO:	ARQ. EDUARDO AGUIRRE C.
EXAMINADOR:	ARQ. OSCAR ORELLANA
EXAMINADOR:	ING. VICENTE MAZARIEGOS
EXAMINADOR:	ARQ. JOSE JORGE UCLES
SECRETARIO:	ARQ. HEBER PAREDES N.

ASESOR:	ARQ. JORGE ESCOBAR
---------	--------------------

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A

Dios: Luz divina que ilumina mí entendimiento.

Guatemala: Puñado de tierra enclavado en el corazón de América.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La facultad de Arquitectura.

Mis padres: Alfredo Morales E. Teresa M. de Morales  
Invaluables apoyos en el desarrollo de mí vida -  
y mí carrera. Gracias por haberme dado la oportunidad de compartir este mundo.

Mi esposa: Irma Judith  
Por el amor que me brindas, por tú ayuda en la -  
realización de esta tesis y por comprender el --  
tiempo que tube que dedicar ha alcanzar mí título.

Mis hijos: Cesar Armando William Thomas  
Partes de mí ser, continuación de mí vida, con a  
mor paternal para ellos.

Mis hermanos:  
Rudy Fernando  
Patricia Liseth  
Oswaldo Mauricio  
Compañeros de mí infancia, por el cariño frater  
nal que nos une.

Mi maestro y amigo: Ing. Marco Tulio Ventura R.  
Por el tiempo dedicado a mí aprendizaje, por su  
apoyo y amistad.

Mi amigo y compañero: Rafael Ceballos Trejo  
Por tú amistad y aprecio.

INDICE GENERAL

Pag. No.

1.	CAPITULO No. I	1
1.1	Introducción	3
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivos Académicos	3
1.2.2	Objetivos Generales	3
1.2.3	Objetivos Particulares	3
1.3	Antecedentes	4
1.4	Justificación	4
1.4.1	A Nivel Académico	4
1.4.2	A Nivel de la Práctica Arquitectónica	5
1.5	Problematización	5
1.6	Hipótesis	5
1.7	Alcances y Límites del Tema	5
1.8	Las Técnicas de Investigación	6
2.	CAPITULO No. II	
2.1	Generalidades sobre la Madera Convencional	7
2.2	Características de la Madera	7
2.2.1	Arboles de Hoja Ancha y Coníferos	7
2.2.2	Estructura	8
2.2.3	Corazón y Albura	8
2.2.4	Anillos Anuales	8
2.2.5	Densidad	10
2.2.6	Fibra	10
2.2.7	Contenido de Humedad	11
2.2.8	Secamiento	11
2.3	Afecciones de la Madera	11
2.3.1	Nudos	13
2.3.2	Rajaduras Transversales a los Anillos	13
2.3.3	Reventaduras	13
2.3.4	Inclinación de las Fibras	13
2.3.5	Descantillado	14
2.3.6	Pudrición	14
2.3.7	Otras Consideraciones	14
2.3.7.1	Arboles Vivos y Arboles Muertos	14
2.3.7.2	Duración	15

2.3.7.3	Tratamientos	15
2.4	Propiedades Mecánicas y de Resistencia de la Madera	15
2.4.1	Propiedades de Resistencia	15
2.4.2	Compresión Paralela a la Fibra	16
2.4.3	Compresión Perpendicular a la Fibra	16
2.4.4	Esfuerzo de Corte Paralelo a la Fibra	16
2.4.5	Tensión Paralela a la Fibra	16
2.4.6	Tensión Perpendicular a la Fibra	16
3.	CAPITULO No. III	
3.1	Producción de Madera Laminada	18
3.1.1	Generalidades sobre la Madera Laminada	18
3.1.2	Proceso de Fabricación	19
3.1.2.1	Selección de Maderas	20
3.1.2.2	Engomamiento	21
3.1.2.3	Moldes y Moldajes	21
3.1.3	Miembros Laminados Curvos	21
3.1.3.1	Producción de Formas Curvas en Laminados Estruc.	22
3.1.3.2	Grosor de Laminaciones	23
3.1.4	Equipo y Métodos de Fabricación	24
3.1.4.1	Moldes y Formas Clasificadas	24
3.1.4.2	Mecanismos de Presión	25
3.1.4.3	Abrazaderas Retenedoras	25
3.1.4.4	Indicadores de Presión	25
3.1.4.5	Método de Presión por Mangueras de Incendio	26
3.1.4.6	Método Clavado	28
3.1.4.7	Formas Macho-Hembra	28
3.1.4.8	Presión Líquida	29
3.1.4.9	Intercalados Laminares	33
3.1.4.10	Tubos Laminados	33
3.1.5	Factores que Inciden en la Producción de Laminados	36
3.1.5.1	Clasificación de Madera para Laminar	36
3.1.5.2	Selección y Curado	36
3.1.5.3	Proceso de Pegado	36
3.1.5.4	Factor Diseño	37

3.1.5.4.1	Grados de Apariencia	37
3.1.5.4.2	Sistemas de Marcos	37
3.1.5.5	Factor Economía	38
4.	CAPITULO No. IV	
4.1	Procesos de Secado y Curación de Laminaciones	39
	-Cuartos de Calentamiento	39
	-Modificaciones en Cuartos de Curación	40
	-Temperatura Radiante	40
	-Lienzos Electricos	40
	-Otras Consideraciones	42
	-Preparación de Superficies	43
4.2	Adhesivos Empleados para Laminaciones	43
4.2.1	Pegamentos Naturales	43
4.2.1.1	Los que Proviene de Animales	43
4.2.1.2	Goma Caseín	45
4.2.2	Gomas Sintéticas	45
4.2.2.1	Goma Urea	45
4.2.2.2	Goma Resorcinol	46
4.2.2.3	Goma Curada	46
4.2.3	Aplicación de Pegamentos	46
4.2.4	Otras Consideraciones	47
4.3	Uniones Utilizadas en Maderas Laminadas	47
4.3.1	Junta Empalme Plano	48
4.3.2	Junta Empalme Biselada	48
4.3.3	Junta Empalme Dentada	48
5.	CAPITULO No. V	
5.1	Consideraciones a tomar en cuenta previas al Diseño de Miembros Laminados	50
5.1.1	Madera para Miembros Estructurales	50
5.1.2	Duración de Carga	50
5.1.3	Factor de Curvatura	51
5.1.4	Factor Tamaño	51
5.1.5	Otras Consideraciones	52
5.1.6	Grados Estructurales de Maderas Guatemaltecas	52
5.1.6.1	Maderas Grado A	54

5.1.6.2	Maderas Grado B	54
5.1.6.3	Maderas Grado C	54
5.2	Diseño y Cálculo de Vigas de Madera Laminada	54
5.2.1	Precedimiento de Diseño de Viga Doble Piramidal de Madera Laminada	54
5.2.2	Ejemplo	62
5.3	Arcos de Madera Laminada Pegada	65
5.3.1	Precedimiento Preliminar de Diseño de Arco Tudor	65
5.3.2	Ejemplo	71
5.4	Cubiertas de Madera Laminada	75
5.5	Análisis Comparativo entre el Costo de una Estructura de Acero y una de Madera Laminada	76
5.5.1	Estimación de los Costos de un Marco Rígido de Estructura de Acero de Alma Llena	76
5.5.2	Estimación de los Costos de un Marco de Madera Laminada	82
6.	CAPITULO No. VI	
6.1	Detalles Típicos en la Construcción de Madera Laminada	87
7.	CAPITULO No. VII	
7.1	Consideraciones para la Explotación de Madera Laminada en Guatemala	131
7.1.1	Factores que Influyen sobre los Bosques	131
7.1.1.1	Topografía	131
7.1.1.2	Clima	131
7.1.1.3	Suelos	132
7.1.1.4	Factores Bióticos	132
7.1.2	Aspectos que Inciden sobre el ritmo de la Deforestación	132
7.1.3	Período Crítico entre la Deforestación y la Reforestación	133
7.2	Comparación de la Madera Laminada y la Madera Sólida	137
7.3	Conclusiones	138
7.4	Recomendaciones	139
7.5	Bibliografía	141

CAPITULO No. 1



1. CAPITULO No. 1

1.1 INTRODUCCION

Es irrefutable que el desarrollo de un país radica en el conocimiento y la adecuada explotación de los recursos con los que cuenta y siendo Guatemala un país eminentemente forestal se hace sentir la necesidad de lograr el máximo y racional aprovechamiento de la madera proveniente de los bosques.

La madera ha desempeñado un papel muy importante en el desarrollo de la raza humana y ha sido empleada para obtener combustible, armas, transporte etc. La aplicación que se le ha dado en construcción ha sido en la confección de miembros tales como vigas, columnas, entrepisos, armaduras etc., obteniéndose excelentes resultados, catalogándosele como material liviano y resistente, adecuado para luces menores de 20', así pues, existen múltiples textos que tratan acerca de las ventajas de la madera sólida.

Sin embargo, existen otros usos de la madera que no han sido estudiados en nuestro medio, tal es el caso del empleo de pequeñas piezas de madera pegadas entre sí, sujetadas por medio de mecanismos de presión, obteniéndose estructuras de alta consistencia estética y durabilidad, lo que se ha denominado "Madera Laminada". La importancia de las estructuras de Madera Laminada en Arquitectura radica en que pueden cubrir luces hasta de 250', de la diversidad de estructuras se pueden obtener vigas, arcos etc. con dichos elementos estructurales el Arquitecto o constructor puede disponer de un sistema innovador y eficaz para determinados requerimientos de diseño.

El presente trabajo de tesis se desarrollo en siete capítulos, en el primero de los cuales se plantearon los aspectos que conforman el marco teórico de investigación, entre estos destacan los objetivos que pretenden dar a conocer las propiedades de la Madera Laminada en construcción. En los capítulos sub siguientes se detallan las ventajas de la madera sólida, se procede a describir los diversos materiales, equipos y métodos de fabricación de estructuras de Madera Laminada.

En el capítulo No. VI se demuestran a nivel gráfico la diversidad de detalles necesarios en la construcción con miembros laminados.

Como consecuencia lógica al final el proceso de investigación arrojó conclusiones las cuales confirman los objetivos planteados y las recomendaciones necesarias para su aplicación en Guatemala, con el principal aporte de apoyar e incentivar el uso racional de los recursos forestales renovables del país.

Por ser el estudio que se presenta introductorio en el uso de la Madera Laminada, se tuvieron que sortear dificultades tales como la escasa bibliografía en castellano, la falta de experimentación en estructuras laminadas, pero se tiene la confianza que este estudio motive a otras personas a continuarlo y que en el futuro se tenga toda la información necesaria al respecto.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Académicos:

Proporcionar a la Facultad de Arquitectura la información básica sobre las ventajas y usos de la Madera Laminada como sistema constructivo; con el propósito específico de --realimentar las áreas de tecnología de la construcción, para que las futuras generaciones de Arquitectos tengan al alcance la implementación sobre el tema.

### 1.2.2 Generales:

Elaborar un estudio que contenga todos los aspectos para el conocimiento y futuras aplicaciones de las estructuras Laminadas, con la utilización de los recursos forestales renovables del país.

### 1.2.3 Particulares:

Penetrar en el conocimiento de los métodos de fabricación y aplicación de la Madera Laminada en construcción, enfocando hacia una Arquitectura renovada en el empleo de la madera.

## 1.3 ANTECEDENTES

Como ya se ha mencionado el empleo de la Madera Laminada como sistema constructivo en el campo de la Arquitectura es muy poco conocido en nuestro medio y por consiguiente su aplicación ha sido prácticamente nula.

No obstante en países desarrollados de Europa y en los Estados Unidos de América sí son ampliamente conocidas sus ventajas y existen diversos textos que tratan sobre la forma de construcción y aplicación de la Madera Laminada.

En Guatemala se ha tratado este tema en forma muy general a través de algunos trabajos de tesis de la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos (1).

Se tiene conocimiento de los textos que a continuación se describen y que de una u otra forma han tratado el tema:

-Glued Laminated Lumber

(German Gurfinkel) New Orleans, 1973.

---

(1) VILMER MERIDA M. Uso de la Madera Laminada Pegada como Material Estructural, Ventajas de su Aplicación en Guate. Tesis Fac. de Ingeniería USAC, 1981

-Glued Laminated Construction

(Howard J. Hansen) Segunda Edición, 1967.

-Glued Structural Members

(Forest Products Laboratory) Primera Edición, 1974.

Por lo tanto se hace constar la necesidad de profundizar en el conocimiento de la Madera Laminada Pegada y su adecuación para beneficio de la Arquitectura que se desarrolla en Guatemala.

#### 1.4 JUSTIFICACION

##### 1.4.1 A Nivel Académico

Se ha podido determinar que existe escasez de documentos en nuestro medio que proporcione información acerca de la Madera Laminada como material aplicado a la construcción.

Siendo el conocimiento de nuevas técnicas sistemas y métodos constructivos determinantes para implementar y formar un Arquitecto más competente y capaz, es necesario penetrar directamente en este campo, ya que la Madera Laminada como sistema constructivo puede contribuir, a soluciones Arquitectónicas adecuadas y funcionales.

Por tanto este estudio tiende a fortalecer la implementación técnica de tales deficiencias para que las nuevas generaciones de Arquitectos tengan al alcance la información básica de la Madera Laminada Pegada y por lo tanto justifica el desarrollo de este tema.

##### 1.4.2 A Nivel de la práctica Arquitectónica

La práctica Arquitectónica de vital importancia en el desarrollo formal y funcional del país y dentro de la diversidad de su campo contempla una serie de temas sobre materiales de los cuales no tiene conocimiento, lo cual viene a constituirse en desventajas para el desarrollo y realimentación del mismo, por lo tanto el tema en estudio pretende dar a conocer y dejar memoria de la diversidad de formas y usos que se pueden lograr con una adecuada aplicación de la Madera Laminada.

1.5

### PROBLEMATIZACION

Para poder hacer un enfoque claro y con bases consistentes es necesario hacer un estudio detenido de las ventajas de la Madera Laminada Pegada y su posible aplicación en Guatemala, considerando la tipología de las maderas existentes en nuestro medio y los problemas ocasionados por la intensa deforestación efectuada en los bosques nacionales, así mismo se hace necesario considerarlo dentro de un proceso que abarque la inversión en maquinaria y equipo para la fabricación de Madera Laminada a un nivel industrial y su aceptación como sistema estructural de uso alternativo con el acero, para luces grandes que justifique su fabricación en serie u otra forma que le permita un uso adecuado a una futura demanda.

1.6

### HIPOTESIS

Guatemala es un país que cuenta con riqueza forestal, por lo tanto el conocimiento y utilización de Estructuras de Madera Laminada como sistema constructivo para luces mayores de 20' representa un avance tecnológico dentro del desarrollo Arquitectónico, mediante el empleo de los recursos forestales renovables del país.

1.7

### ALCANCES Y LIMITES DEL TEMA

El presente trabajo de tesis abarcará desde la etapa de fabricación, tratamiento, pegado, diseño y empleo de las laminaciones que han de emplearse en la fabricación de miembros estructurales laminados aportando elementos básicos para su aplicación en nuestro país, cuyo contenido vendrá a beneficiar a los futuros profesionales de la Arquitectura.

#### Límites

Los límites están determinados porque en este caso no es posible llegar a la experimentación por medio de la práctica, por la dificultad en la obtención de miembros laminados, ya que no existe en Guatemala una planta de laminados así pues que se pretende llegar a su conocimiento teórico a través del apoyo que brinda la información bibliográfica, la cual es muy escasa sobre todo en castellano, por consiguiente, es neces-

rio realizar una traducción aplicable y de utilidad en nuestro medio.

1.8

#### METODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACION

La metodología está determinada por los elementos sobre los cuales se fundamenta el trabajo de investigación y para que alcance un carácter verídico es necesario que se apoye en el método científico.

Por lo tanto la metodología a seguir está determinada por los procesos de fabricación de estructuras laminadas enfatizando en las ventajas de esta sobre la madera sólida y el bajo costo que se puede obtener frente a estructuras similares de acero, para encaminar el estudio sobre bases que permitan llegar a la comprobación o negación de la hipótesis planteada y obtener conclusiones y recomendaciones que puedan adecuarse a la tipología de las maderas existentes así como a otras características propias de la Arquitectura que se desarrolla en Guatemala.

La elaboración del estudio como una unidad fundamental de información el cual se sustenta en técnicas las cuales serán determinantes para lograr los objetivos del mismo, y entre éstos se mencionan las siguientes:

- Información Bibliográfica
- Entrevistas
- Procesamiento
- La Comparación

CAPITULO No. II

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

2.1

## CAPITULO No. II

2.1.1

### GENERALIDADES SOBRE LA MADERA CONVENCIONAL

Existen más de 90 especies de árboles creciendo en los bosques de Guatemala, que pueden ser considerados comercialmente importantes. Sin embargo el número adecuado para fines estructurales es sumamente pequeño.

Se han asignado esfuerzos permisibles a doce especies distintas de madera, éstas son: Ciprés, Pino, Pino del Petén, Caoba, Canoj, Cedro, Cenicero, Conacaste, Chichipate, Chichique, Ario y Volador.

Al usar cualquier especie en el diseño y construcción de estructuras de madera, no es necesario para el Arquitecto conocer mucho acerca de la composición química de la madera.

Sin embargo, algún conocimiento en esta materia a menudo podría auxiliarle a escoger la especie adecuada bajo diversas condiciones de uso.

Es muy probable que la madera demuestre estar entre los materiales más importantes del futuro, por sus excelentes cualidades y por ser un recurso renovable lo cual la diferencia de otros materiales, así pues frente al agotamiento de los bosques naturales de maderas nobles y durables se ha utilizado el paulatino reemplazo por especies de árboles de crecimiento rápido, por consiguiente es la preservación de la madera, la respuesta a los requerimientos tecnológicos del presente y del futuro, es en ello que radica la importancia de ésta como material estructural.

La madera está clasificada en dos tipos dependiendo de su estructura y dureza a saber: Árboles de hoja ancha y coníferas.

2.2

### CARACTERISTICAS DE LA MADERA

2.2.1

#### ARBOLES DE HOJA ANCHA Y CONIFERAS

Las diferencias se marcan en estructuras, apariencias, tamaño y calidad mantienen a los grupos separados, sin embargo no hay grado definido de dureza que divida a los dos grupos.



Algunas de las maderas de árboles de hoja ancha, como el Roble y el Castaño, son muy duras, mientras que algunas maderas de las coníferas son suaves pero hay excepciones como el Tilo, que siendo de hoja ancha, es de las maderas más suaves.

Las coníferas deben su nombre al hecho de que su gran mayoría producen conos o piñas. "Los dos grupos pueden diferenciarse con cierta exactitud llamando a las coníferas maderas semiduras o suaves y a las de hoja ancha, maderas duras"<sup>(1)</sup>.

Los principales factores que diferencian a un árbol de hoja ancha de un conífero son: Estructura, Apariencia, Tamaño, Calidad.

#### 2.2.2 ESTRUCTURA

La madera se compone de celdillas alargadas cuya base es la celulosa. Las celdillas están cementadas por lignina, y su ordenamiento dentro del árbol afecta grandemente la apariencia y las propiedades de las diversas especies. La sección transversal de la mayoría de los árboles ofrece ciertas características que son comunes a todo árbol. (Ver fig. No.1)

#### 2.2.3 CORAZON Y ALBURA

"El corazón se forma por medio de un cambio gradual en la albura. Cuando la madera se emplea bajo condiciones conducentes a la putrefacción, es deseable contar en la sección transversal con una gran cantidad de madera de corazón es más duradero que la albura, sin embargo si la madera ha de ser sometida a tratamiento es preferible la albura porque absorbe las sustancias protectoras con mayor facilidad"<sup>(2)</sup>.

#### 2.2.4 ANILLOS ANUALES

Como se indica en la figura No. 1 en el centro o médula del árbol se inician anillos concéntricos, que continúan hacia la corteza.

Cada anillo representa el crecimiento del árbol durante un año. Este crecimiento se verifica en el cambium, de tal -

---

(1) HANSEN HOWARD JAMES, Diseño Moderno de Estructuras de Madera, Compañía Editorial Continental, S.A México 1972 Pag. No. 11.

(2) IBID Pag. No. 13

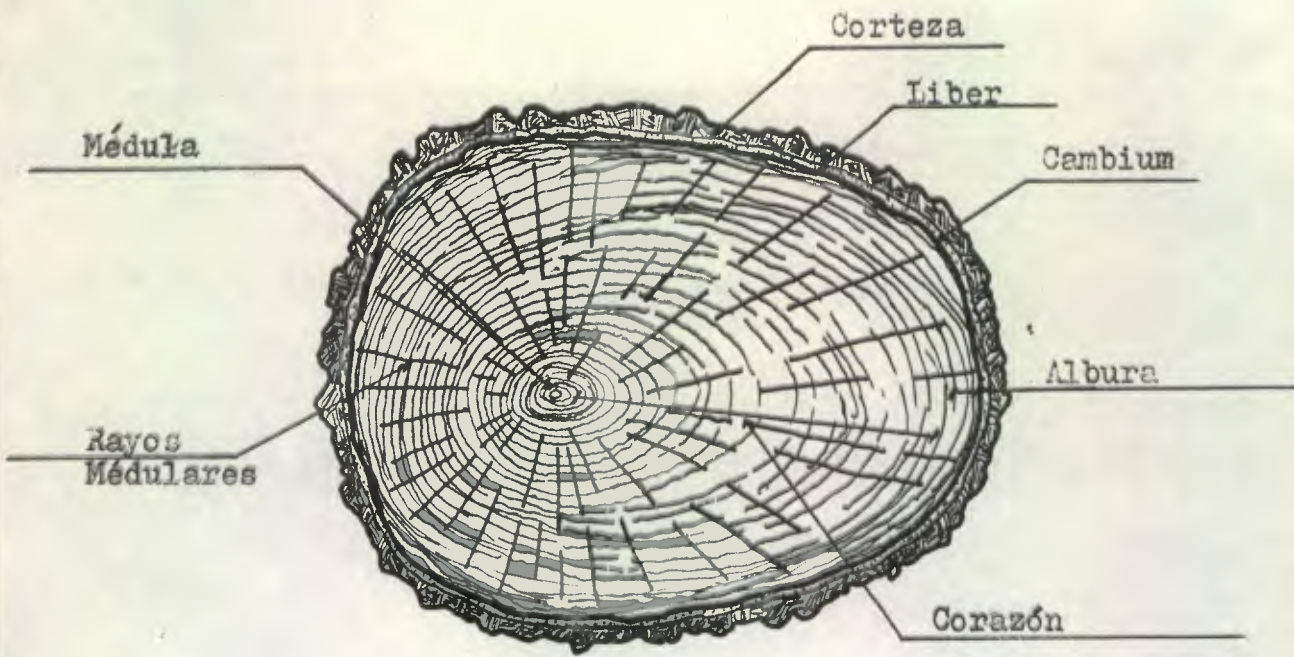


Figura No. 1

Sección Transversal Típica del Arbol

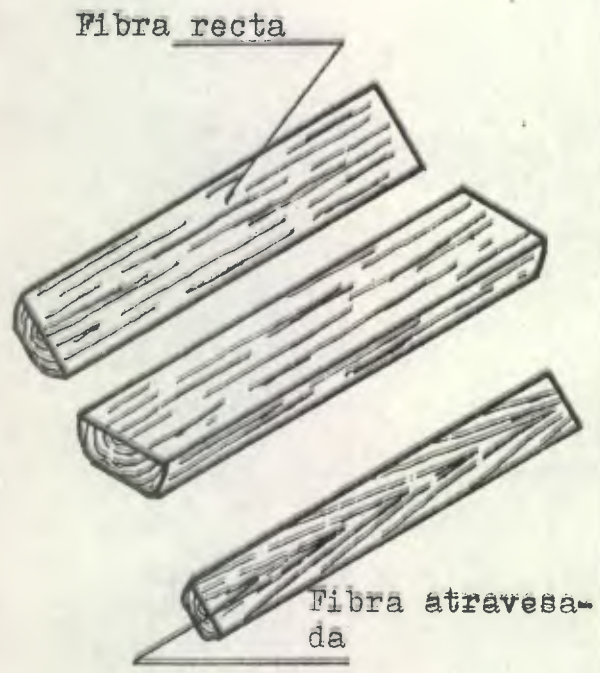


Fig. No. 2 Cortes de la Madera

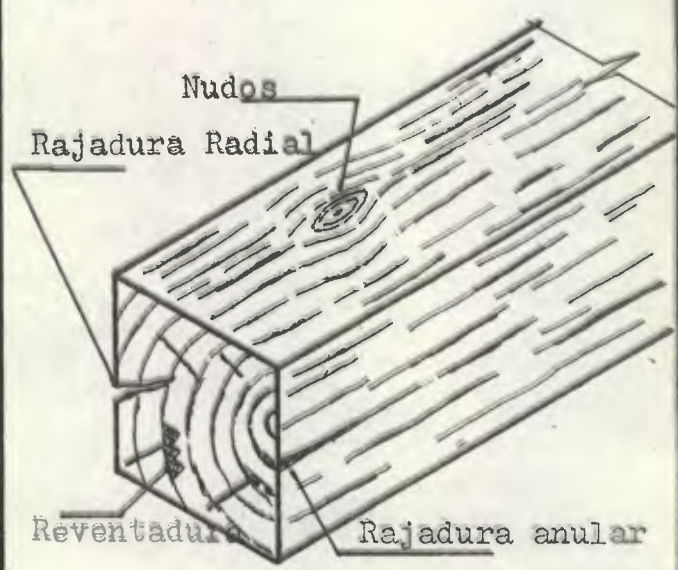


Fig. No. 3 Defectos de la Madera

manera que la nueva madera se agrega inmediatamente al interior de esta capa y tiende a empujar la corteza hacia afuera.

Cuando los árboles crecen en un clima variable es posible distinguir un anillo de crecimiento de otro porque las celdillas que se forman durante la estación fría son diferentes de los que se forman durante la estación cálida en donde el color se presenta más claro.

#### 2.2.5 DENSIDAD

La densidad establece un criterio de resistencia de la madera. Se determina por la velocidad de crecimiento del árbol, esto significa que la resistencia de una pieza de madera se mide por la cantidad y distribución de sustancias básicas o sea el material que compone las paredes de las celdillas.

Al clasificar la madera de coníferas para fines estructurales, el número de anillos por centímetro radial en la sección transversal de la pieza, se considera como parte de las especificaciones.

La madera de árboles de crecimiento rápido tiene anillos anuales anchos, y se denomina de "Grano Grueso" y por el contrario la madera proveniente de árboles de crecimiento lento cuenta con anillos anuales delgados y menudos y se le denomina de "Grano Cerrado".

#### 2.2.6 FIBRA

Se emplean los términos de Fibra Recta o Fibra Atravesada, para describir la madera en que las fibras son paralelas o bien forman un ángulo con los lados de la pieza.

La inclinación de las fibras, expresada como una relación entre una desviación unitaria de las fibras medida con relación a la cara de la pieza y la distancia en que ocurre esta desviación se toma en cuenta en las especificaciones para maderas estructurales, porque tiene un efecto marcado sobre la resistencia de la pieza.

## 2.2.7 CONTENIDO DE HUMEDAD

La madera tiene cantidad considerable de agua libre dentro de las paredes celulares. Después de que un árbol es aserrado principia el proceso de pérdida de humedad y éste continúa descendiendo a medida que avanza la etapa de fabricación.

(1)

El contenido de humedad está determinado por el peso de agua contenida en la madera y es expresado como un tanto por ciento del peso de la madera secada al horno. La madera continúa perdiendo humedad hasta que esté en equilibrio con la humedad de la atmósfera circundante. (Ver gráfica No. 1).

La gráfica No. 1 indica la relación media entre el contenido de humedad de la madera y la humedad relativa de la atmósfera circundante para tres temperaturas distintas.

## 2.2.8 SECAMIENTO

El secamiento se verifica después de alcanzar el punto de saturación de las fibras, la reducción del tamaño de la pieza es conjunta con la reducción de humedad. Es de hacer notar que la madera se contrae más en sentido tangencial o sea en dirección de los anillos anuales de crecimiento que en sentido radial, la contracción en sentido radial es de aproximadamente  $1/2''$  a  $1/3''$  que la que se observa en sentido tangencial.

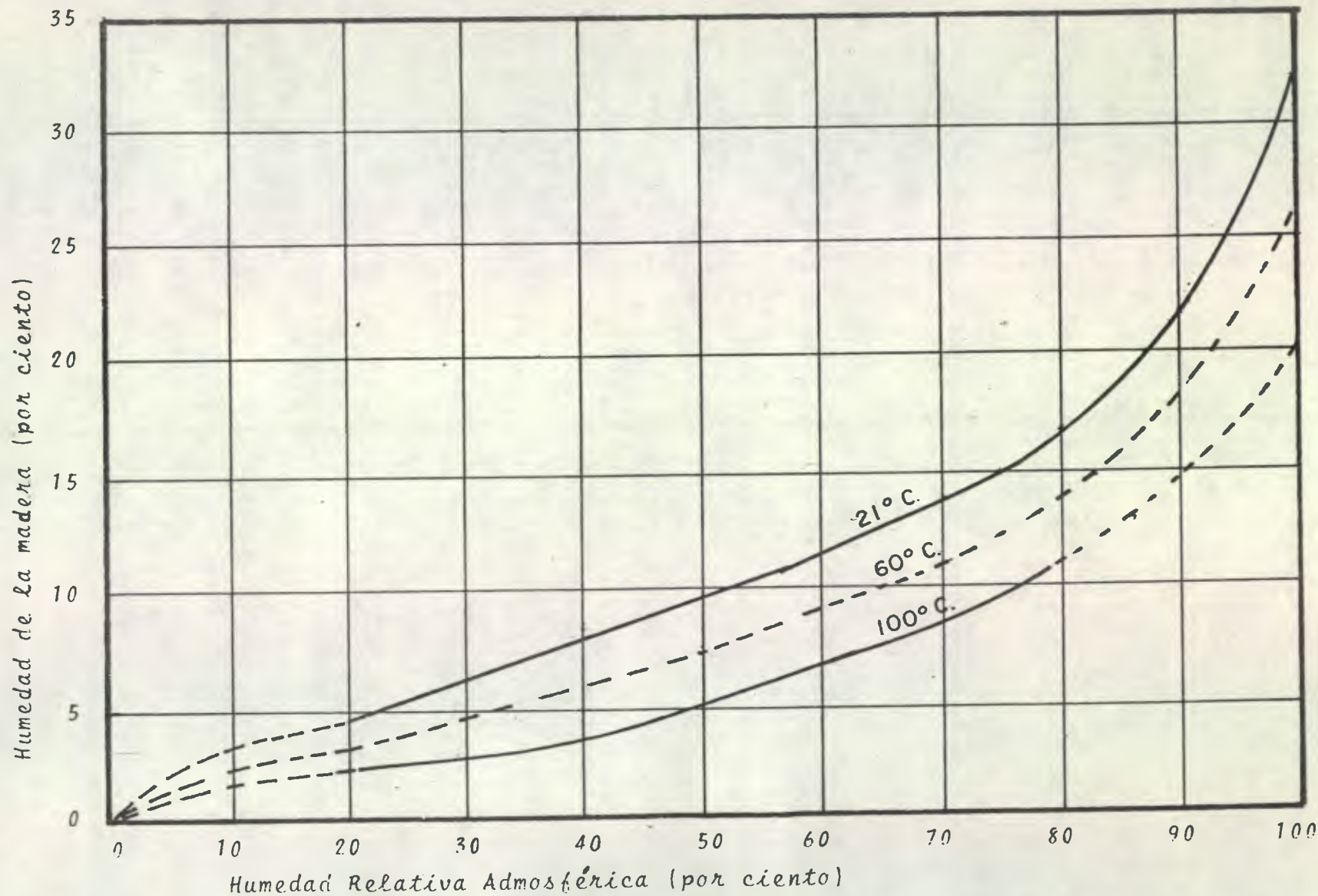
En vista de que es muy difícil obtener madera que ha sido secada hasta el último contenido de humedad sobre todo en piezas grandes, se hace necesario considerar y proveer cierta contracción en el diseño.

## 2.3 AFECCIONES DE LA MADERA

Toda irregularidad en la madera que afecte su resistencia, durabilidad y apariencia es una afección y a causa de las características propias de la madera existen afecciones comunes a todo tipo de madera entre éstas se describen las siguientes:

---

(1) IBID, HANSEN, Pag. No. 14



Gráfica NO. 1

Fuente: Diseño Moderno de Estructuras de Madera (pag. No. 17)

Relación media entre el contenido de humedad de la madera y la humedad relativa de la Admósfera para tres temperaturas 12

### 2.3.1 NUDOS

Los nudos afectan la resistencia de la madera porque las fibras de la misma distorsionan al pasar en rededor de un nudo, y la dirección de las fibras en el nudo, está aproximadamente perpendicular a las de la madera adyacente.

El efecto de un nudo sobre las propiedades de resistencia de una pieza depende en primer lugar del tamaño, forma, adherencia y localización del nudo, así como del tipo de esfuerzo a que se someta la pieza. La disminución de la resistencia de la pieza a causa de la presencia de nudos, es mayor cuando la pieza esta sometida a tensión más que a compresión.

Cuando una pieza posee nudos múltiples o nudos en grupos debe ser rechazada, para miembros estructurales sometidos a compresión como en el caso de columnas cortas o intermedias, los nudos reducen la resistencia en relación a su tamaño. Otro aspecto a considerar es el estético pues debe tomarse en cuenta si el nudo no afecta la apariencia óptica del objeto.

### 2.3.2 RAJADURAS TRANSVERSALES A LOS ANILLOS

El efecto principal de las rajaduras en la madera es reducir su resistencia al esfuerzo de corte horizontal, el efecto de rajaduras en el sentido de las fibras sobre vigas y columnas depende del área de la sección longitudinal que cubren.

### 2.3.3 REVENTADURAS

Se le llama de esta forma a la separación a lo largo del hilo, principalmente entre los anillos anuales. Este tipo de afección tiende a reducir la resistencia del esfuerzo cortante.

### 2.3.4 INCLINACION DE LAS FIBRAS

Cuando las fibras no corren paralelas al canto de la pieza, son transversales y los esfuerzos de tensión o compresión tendrán componentes actuando perpendicularmente a la fibra.

La madera es más débil en sentido transversal a las fibras y por lo tanto la inclinación de las fibras es un factor

a tomar muy en cuenta al momento de diseñar estructuras de ma  
dera.

La inclinación de las fibras se expresa como una rela---  
ción entre una desviación de 1 cm. referida al canto de la --  
pieza y la distancia en que tal desviación ocurre.

Se ha podido establecer de acuerdo a pruebas de laborato  
rio que la resistencia a la compresión se ve poco afectada --  
hasta que se llega a inclinaciones mayores de 1 a 10.

#### 2.3.5 DESCANTILLADO

Se denomina de esta forma a la ausencia de madera o cor  
teza en la esquina de una pieza de madera aserrada<sub>(1)</sub>

La resistencia de un miembro puede resultar afectada --  
por descantillado, sí el miembro tiene un área transversal in  
suficiente, el descantillado puede evitarse sí los cortes se  
hacen logrando que las aristas conserven un ángulo recto.

#### 2.3.6 PUDRICION

Es la desintegración de la substancia linosa a causa del  
efecto destructor de los hongos, el aire, la humedad y las --  
temperaturas bajas propician el crecimiento de los hongos, an  
te esta afección la madera se hace más blanda, esponjosa y sus  
ceptible de desmoronarse.

#### 2.3.7 OTRAS CONSIDERACIONES

##### 2.3.7.1 ARBOLES VIVOS Y ARBOLES MUERTOS

La madera obtenida de árboles muertos por insectos, hon  
gos, viento y fuego es en todos aspectos tan útil para fines  
estructurales como la madera obtenida de árboles vivos al ser  
cortados.

Pero es necesario que la madera que se obtiene de árbo--  
les muertos requiera de una inspección cuidadosa, pero una vez  
que se ha encontrado perfectamente sana, no habrá diferencia --  
entre las propiedades de la madera obtenida de árboles vivos y  
árboles muertos.

---

(1) IBID, HANSEN, Pag. No. 39

### 2.3.7.2 DURACION

Se supone que la madera es perecedera y adecuada únicamente para estructuras tradicionales, pero esto lo contradicen las estructuras construidas hace más de un siglo, y que aún están en buenas condiciones.

La madera como ya se ha dicho está sujeta al ataque de agentes destructores, pero cuando se le protege contra hongos, insectos y barrenadores marinos las propiedades de resistencia de la madera no cambian con el tiempo.

### 2.3.7.3 TRATAMIENTOS

Tratamientos contra la putrefacción o el fuego, no son dañinos a la madera, pero el método de aplicar las sustancias químicas, si no se lleva a cabo correctamente, puede resultar en pérdidas de resistencia de la madera.

En cualquier proceso de tratamiento se debe ejercer cuidado con respecto a la temperatura y la duración del tratamiento, cualquier pequeña baja en las propiedades de resistencia de la madera que pueda ocurrir a causa de un tratamiento se vero se compensa por la extensión de la vida de la misma.

## 2.4 PROPIEDADES MECANICAS Y DE RESISTENCIA DE LA MADERA

### 2.4.1 PROPIEDADES DE RESISTENCIA

La constitución interna de la madera la hace diferente a cualquier otro material estructural y no hay dos piezas de madera que tengan las mismas propiedades de resistencia, estas características se deben a su estructura molecular y a su forma de crecimiento, el crecimiento se ve afectado por factores tales como: Temperatura, Humedad y Especimen.

El patrón de crecimiento en determinados climas está basado en el desenvolvimiento anual de anillos, los cuales tienen diferentes cualidades de resistencia.

### 2.4.2 COMPRESION PARALELA A LA FIBRA

Generalmente la madera falla bajo la acción de una carga puntual dependiendo de la esbeltez de la pieza e inexactitud del centrado de la carga.



El esfuerzo en el límite elástico es el que corresponde al punto a partir del cual las deformaciones aumentan. La resistencia máxima al aplastamiento se calcula dividiendo la -- carga máxima que resiste la pieza entre el área de la sección transversal.

#### 2.4.3 COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA

Generalmente este esfuerzo se manifiesta cuando la madera tiene un 15% de humedad, la resistencia a la compresión se incrementa en un 50%. El esfuerzo unitario en el límite elástico es el esfuerzo basado en la carga en el límite elástico dividido entre el área bajo compresión.

#### 2.4.4 ESFUERZOS DE CORTE PARALELO A LA FIBRA

Considerables esfuerzos de corte paralelos a la fibra -- pueden ser desarrollados en la madera, pero es de hacer notar que grietas y rajaduras reducen la resistencia, las piezas pequeñas tienen mayor resistencia al corte que las piezas grandes.

#### 2.4.5 TENSION PARALELA A LA FIBRA

Se cuenta con poca información acerca de la resistencia de la madera a tensión a lo largo de las fibras.

Sin embargo se conoce que el esfuerzo permisible es de  $\frac{2}{3}$  del módulo de ruptura.

#### 2.4.6 TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA

La madera tiene poca resistencia a la tensión perpendicular a la fibra y ésta es aún menor bajo la existencia de nudos, grietas y otras afecciones de la madera.

Cuando la madera conserva un contenido de humedad de un 15 a un 20% punto próximo a la saturación las cualidades de resistencia se incrementan (ver tabla No. 1).

**CARGA ESTÁTICA**

% Cambio por 1% en contenido de humedad

Esfuerzo hasta el límite de proporcionalidad	5
Módulo de ruptura	4
Módulo de elasticidad	2
Trabajo hasta el límite de proporcionalidad	8
Carga máxima	0.5
Carga impacto, caída causando fractura	0.5

**COMPRESION PARALELA A LA FIBRA**

Esfuerzo en la fibra hasta el límite de proporcionalidad	5
Máxima resistencia de aplastamiento	6

**COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA**

Resistencia de la fibra hasta el límite de proporcionalidad	5.5
---	-----

**CORTADO PARALELO A LA FIBRA**

Resistencia máxima	3
--------------------	---

**TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA**

Resistencia máxima	1.5
--------------------	-----

**DUREZA**

En el final	4
En los lados	2.5

Tabla No. 1

Fuente: Diseño Moderno de Estructuras de Madera  
Página No. 34.

CAPITULO No. III

3. CAPITULO No. III  
3.1 PRODUCCION DE MADERA LAMINADA  
3.1.1 GENERALIDADES

Cualquiera que sea el propósito estructural ó razón Ar--  
quitectónica, han hecho del empleo de la madera un valioso ma--  
terial de construcción y actualmente ha alcanzado alto grado  
de tecnificación la aplicación de unir pequeñas tablas para --  
formar una sección grande y de mayor resistencia, generalmen--  
te el método consiste en unir tablas o láminas de 2.5 ó 5.00  
cm. colocando cada lámina en forma tal que las fibras de to--  
das las láminas queden en la misma dirección, a este método --  
se le conoce como "Madera Laminada Pegada" ó "Laminaciones de  
Madera Encolada".

Como ya se mencionó, se puede lograr con el empleo de Ma--  
dera Laminada piezas de sección suficientemente grandes como  
el diseño lo requiera, obteniéndose alta consistencia, estétic--  
a y durabilidad lo cual no se podría lograr con el material  
original.

En nuestro país es poco conocido como material estructu--  
ral, pero en Europa se han empleado extensamente tanto en vi--  
gas como en arcos y puentes también se ha popularizado su em--  
pleo en los Estados Unidos de Norte América.

Enel año 1934, se diseñaron las primeras estructuras por  
el Forest Producty Laboratory, las cuales se emplearon para --  
estructuras de gimnasios, fábricas y otras áreas donde se re--  
quería cubrir distancias mayores a 50' de luz.

La práctica de la Madera Laminada es hoy en día un impor--  
tante proceso en la industria moderna y es utilizada en la ma--  
nufacturación de muchos elementos estructurales, como ya se --  
ha mencionado, pero su desarrollo a ido más allá pues en la --  
actualidad se producen Bates de baseball, Raquetas, Barcos y  
hasta aeroplanos, por ser éste un material relativamente li--  
viano y práctico.

### 3.1.2 PROCESO DE FABRICACION

En el proceso de fabricación de miembros laminados son varios los aspectos a considerar, pero el primero de ellos es la selección de la madera que habrá de emplearse para el laminamiento.

"El proceso de fabricación en sí, consiste en unir por medio de pegamento las pequeñas piezas o laminaciones de 2" de espesor, hasta formar la sección deseada las cuales son secadas al horno".(1)

Existen varios métodos para el secado y gran variedad de pegamentos los cuales serán descritos en el capítulo No. IV.

Es recomendable que la humedad en la madera no exceda de un 15% durante la etapa de fabricación sobre todo si se trabajan diseños curvos.

El fabricante de miembros laminados pegados debe contar con el equipo adecuado para mezclar y aplicar la goma para mantener la temperatura requerida y para aplicar la presión necesaria. Cada una de las láminas recibe cola o goma por sus dos lados, mediante dispositivos mecánicos para su aplicación.

"Cuando se trata de construir miembros curvos es necesario doblar las láminas sobre un molde convenientemente la presión se aplica por medio de un tornillo de banco, gatos mecánicos o hidráulicos o algún otro dispositivo que sea adecuado"(2)

Para lograr la mayor eficiencia en la producción de Madera Laminada se recomienda el empleo nominal de 2" de grosor para partes rectas y 1.5" para curvas, cuando éstas se encuentran en medio de dos uniones, se emplea 1" de grosor, es de hacer notar que estas medidas son standard pero estan sujetas a cambios de conformidad con los requerimientos específicos del diseño.

---

(1) VILMER ABRAHAM MERIDA, Uso de la Madera Laminada Pegada como Material Estructural Ventajas de su Aplicación en Guatemala. Tesis Fac. de Ingenieria USAC, 1981.

(2) IBID, MERIDA Pag. No. 25

Generalmente, las laminaciones son de 2" de grosor --- por 3" de ancho y 2' de largo, aunque como ya se ha dicho se dan una serie de variaciones según lo requiera el diseño.

### 3.1.2.1 Selección de Maderas

Casi todas las distintas clases de madera pueden ser utilizadas para el proceso de laminación pero hay varias clases que tienden a ser más apropiadas que otras. Para laminados grandes se recomienda el uso de maderas suaves (Pino) es de peso liviano pero muy resistente.

Como en todos los proyectos de madera hay que asegurarse que la madera seleccionada llene todas las características para el trabajo.

De la variación de especies dependerá en gran parte los buenos o malos resultados en su pegado y de acuerdo al tipo de madera deberán tomarse las consideraciones necesarias. Maderas suaves y maderas duras son igualmente aceptadas para la fabricación de laminados estructurales y la selección de especies para aplicaciones en particular dependerán de factores como costo, disponibilidad bajo cambios y condiciones ambientales variables.

Es particularmente importante en la fabricación de miembros laminados, asegurarse que cada laminación individual tenga uniformidad de grosor puesto que los métodos usados en el pegado a presión no permite el empleo de presiones muy fuertes y cualquier variación en cuanto a grosor puede dar como resultado el apareamiento de líneas gruesas de pegamento lo que tiende a proporcionar una resistencia pobre.

Como ya se mencionó la selección de la madera es de gran importancia y ninguna pieza con defectos (picaduras rajaduras y nudos) deberá ser usada, pues tenderá a tornarse quebradizo

Las laminaciones deberán ser tratadas por humedad a un valor de 20% es lo recomendable para tener una adhesión satisfactoria. Sobre el aspecto de clasificación de madera se ampliará en la sección 3.1.5.1.

### 3.1.2.2 Engomamiento

El proceso de fabricar formas laminadas es esencialmente un proceso de engomamiento, y el método más usado dependerá - en su mayoría del tipo de goma a emplearse, también influirán otros factores tales como la cantidad de producción requerida costo, etc.

En cualquiera de los métodos que se elijan para la fabricación, se pueden emplear láminas de superficies planas ya -- sea para usarlas directamente de esta forma o para dobleces, pero es de vital importancia el tipo y calidad de pegamento - seleccionado.

### 3.1.2.3 Moldes y Moldajes

A pesar de ser la madera un material orgánico presenta - dificultades para la realización de dobleces en dos direcciones, algunas son relativamente simples, las curvaturas pueden hacerse bajo presión colocando lienzos barnizados en medio de moldes hembra y macho, estos moldes pueden ser hechos de madera a bajo costo, con procesos de calentamiento y presión se - puede lograr que la madera pegue más rápidamente, luego de este proceso tanto moldes como ensamblamientos pueden ser removidos para su acabado y uso final, en algunos casos se emplean moldes a base de mangueras alimentadas con líquidos o aire, - así mismo bolsas de hule, estos métodos se describen más específicamente en la sección 3.1.4.

### 3.1.3 MIEMBROS LAMINADOS CURVOS

Es bien sabido que todas las maderas pueden ser dobladas hasta cierto grado en estado frío sin sufrir fracturas así -- mismo que las piezas pequeñas pueden ser dobladas en pequeñas curvaturas, por consiguiente debido a las propiedades elásticas de la madera, tenderá a recobrar su forma original a menos que tenga suficiente presión y sean sostenidas rígidamente o asegurando un número de piezas dobladas concéntricamente a este método se le conoce como doblez laminado.

En vista de la creciente importancia del uso de la Made-

ra Laminada para usos estructurales últimamente se han incrementado considerablemente el empleo de curvas laminadas por ejemplo en techos, puentes, arcos, vapores etc.

Para la selección y preparación de laminaciones curvas deberán tomarse en cuenta los mismos factores que para los miembros constituidos por laminaciones rectas, tales como el factor de habilidad del material según las formas a que sea doblado, resistencia, grado de durabilidad, así mismo se tomarán en cuenta los factores de resistencia en cuanto a picaduras de insectos, humedad y su orientación respecto a la dirección de la fibra.

### 3.1.3.1 Producción de Formas Curvas en Laminados Estructurales

El doblado o curvatura consiste en unir individualmente una serie de laminaciones, asegurándolas unas con otras con pegamentos sobre una sola forma de doblaje, por lo tanto no podrá ocurrir ninguna alteración en cuanto a la forma, convirtiéndose éste en un doblado permanente según la forma deseada es importante notar que la humedad adquirida durante el enchapado puede modificar el doblado de la madera, pues generalmente una mayor cantidad de humedad producirá un doblado más fácilmente y evitando de esa forma que la pieza sufra fracturas.

En la producción de miembros grandes con madera sólida el tamaño exigiría el uso de componentes pesados y de difícil curación, pues un miembro cortado de una troza será adecuado a menos que sea cortado en secciones pequeñas las cuales se unen posteriormente, pero su aceptabilidad está sujeta a condiciones estéticas y económicas.

Se aclara que el corte de madera sólida para miembros curvos en dimensiones grandes, generalmente se tuerce y no es muy práctico ni usado, no obstante la producción de miembros laminados curvos continúa aumentando y se han utilizado miembros hasta de 70.00 metros de luz.

Cuando la apariencia es consideración primordial, por ejemplo en el empleo de iglesias en donde se desean efectos es



téticos y resistentes, virtualmente inobtenibles con maderas convencionales y en cambio se pueden obtener fácilmente utilizando miembros laminados curvos y se han obtenido efectos que han sido resaltados por combinaciones de especies diferentes, colores y fibras, sin embargo cuando se trabajan diferentes especies debe tomarse muy en cuenta la afinidad de una con otra.

### 3.1.3.2 Grosor de Laminaciones

En la fabricación de miembros laminados curvos el grosor de las laminaciones deberá obviamente haber sido estudiado -- con anterioridad, sobre todo el aspecto de radiación de curvatura, así las piezas serán dobladas sin sufrir daños.

Si el material es grueso el costo de producción será menor, y menor será la pérdida en el corte pero tendiendo a esto se incrementará el costo del secado y se presentarán dificultades mecánicas en la operación de doblaje.

En general maderas duras pueden ser dobladas en pequeñas radiaciones de curvatura al contrario de las maderas suaves y laminaciones con nudos u otros defectos, observando estas recomendaciones una de cada 20 laminaciones se fracturará durante la operación de doblaje.

Aparte de cualquier limitación en cuanto a consideraciones radiales, el grosor de las laminaciones es generalmente restringido a 2" a causa principalmente de la dificultad en el doblaje y el secado. En adición el efecto de la goma aplicada en la madera darán como resultado un aumento en el contenido de humedad de la misma, se presentarán variaciones más severas en este aspecto si se emplean laminaciones gruesas.

Relativamente hay muy poca información en cuanto a la radiación de curvatura a la cual laminaciones de diferentes especies y tamaños estructurales pueden ser dobladas.

En cualquier miembro curvo la radiación de curvatura de la concavidad interior será inferior que la radiación aplicada en el exterior de la laminación.

Debe tomarse nota que para secciones de 1/8 de pulgada - (3.2 mm.) de grosor o menos la radiación de curvatura a las - que pueden ser sometidos los dobleces debe ser previamente es - tudiada con modelos de laboratorio para evitar que no más de un 5% del número total de piezas dobladas sufran fracturas du - rante los distintos procesos de fabricación, pues aplicando - correctamente los radios de curvatura ayudarán a producir Ma- dera Laminada de buena calidad.

### 3.1.4 EQUIPO Y METODOS DE FABRICACION

La industria utiliza gran variedad de métodos para la fa- bricación de miembros laminados, cada fábrica crea e improvi- sa técnicas de pegado y mecanismos de presión, a continuación se describen tipos de equipamiento y métodos utilizados en la fabricación de Madera Laminada.

#### 3.1.4.1 Moldes y Formas Clasificadas

Las formas de laminaciones pueden ser clasificadas en el campo de las laminaciones estructurales y de uso arquitectóni- co, de tal forma que sería impráctico tener una sola forma pa- ra diferentes y variados requerimientos de diseño, por lo tan- to cada fábrica hace el propio.

Una compañía que no tenga extensa producción de Madera - Laminada puede usar una sola forma repetidas veces hasta que cambios mayores en cuanto a diseño sean requeridos. El tipo más común de formas utilizadas consiste en el de hembra y ma- cho, éstas son normalmente usadas para partes pequeñas que in - volucren el ensamblamiento de vigas, es un tipo muy práctico y se utiliza cuando se requiere alta producción.

Otro sistema generalmente usado es el de identificar las formas de laminaciones ya sea continuo o intermitente, el mé- todo de hembra y macho se clasifican como continuo y el de -- forma "L" como intermitente. La aplicación de alguno de es-- tos tipos depende primordialmente del grado de grosor de los lien - zos de madera, lienzo delgados no están capacitados para soportar presiones muy altas al ser pegados pues como es sabi-

do una unión pegada con goma no será eficiente a menos que la presión sea aplicada sobre el área entera, en contra parte a esto piezas individuales de madera para fabricar una viga deben ser lo suficientemente consistentes para soportar abrazaderas con alta presión a ambos lados.

Para la mayor eficiencia de estos dos tipos de formas es cuestión de determinar la presión adecuada de pegado que se puede mantener en las abrazaderas espaciadas ó si la presión puede ser ejercida sobre la superficie entera.

#### 3.1.4.2 Mecanismos de Presión

Hidráulica y Pernada son generalmente empleadas para uniones de esquina y para presión insertada en miembros macho-hembra, en la producción de laminados pequeños como lo son raquetas de tenis y cabezas de palos de golf.

La presión de tornillo o pernada puede ser utilizada eficientemente, cuando se requiere ejercer presión sobre muchos pares de piezas simultaneamente unidas.

El aire a presión ó presión hidráulica es particularmente conveniente, cuando se pegan piezas cortas y pesadas ya que por el peso de las mismas, no es posible moverlas de un lugar a otro.

#### 3.1.4.3 Abrazaderas Retenedoras

El término general de retención se refiere a uniones de tipo atornillado, para laminaciones livianas, se logra a través de este método uniones satisfactorias y de alta resistencia, hay variados estilos en estas clasificaciones tales como: La aplicación de un tren de abrazaderas y ganchos espaciados con intervalos de las laminaciones y distribuyendo igual presión en toda la superficie pegada, las abrazaderas son apretadas progresivamente a ambos lados del perfil laminado. En trabajos grandes se emplean atornilladores eléctricos para acelerar el proceso.

#### 3.1.4.4 Indicadores de Presión

Muchos son los métodos utilizados para determinar la can

tividad de presión que está siendo aplicada en las abrazaderas, uno de los más disponibles o comunes es el de "Torque", en las fábricas de laminaciones el torque es utilizado para apretar los tornillos de las abrazaderas a la misma presión, de esta forma la presión ejercida sobre las laminaciones es uniformemente distribuida.

Otro indicador de presión es el "Comparámetro" éste consiste en un cilindro de hierro con pistón construido sobre -- principios hidráulicos, una presión de gauge es inyectada a la cabeza del cilindro y la cavidad es llenada con glicerina, el comparámetro es colocado en medio de la abrazadera y la laminación, cuando ésta es aflojada la presión es transferida a la laminación por el pistón y cilindro.

Por el alto costo del comparámetro éste es usado para -- chequeos de presión de abrazaderas en trabajos bastante grandes en vez de un indicador por cada una de las abrazaderas.

#### 3.1.4.5 Método de Presión con Manguera de Incendio

Este es un método muy usado por la mayoría de fabrican-- tes comerciales de laminados rectos, y se le conoce con el -- nombre de Abrazaderas de Manguera de Incendio, este nombre se debe al empleo de una manguera de incendio inflada la cual se presiona sobre las uniones pegadas, el método se completa colocando una manguera desinflada en medio de dos abrazaderas y la laminación al momento de ensamblamiento. Uno de los extre-- mos de la manguera es colocado aprisionando las juntas y aire agua o vapor es aplicado al otro extremo, seguidamente la man-- guera tiende a inflarse y a ejercer presión sobre los lamina-- dos, en algunos casos se usan dos o más mangueras una junto a la otra para incrementar la presión (ver fig. No. 4).

Las ventajas de este método de sujeción consisten en que la presión aplicada es continua a lo largo de toda la lamina-- ción, en vez de una presión intermitente provista por abraza-- deras de tornillo y esto por consiguiente conlleva a evitar -- una presión indeseable en las uniones pegadas.

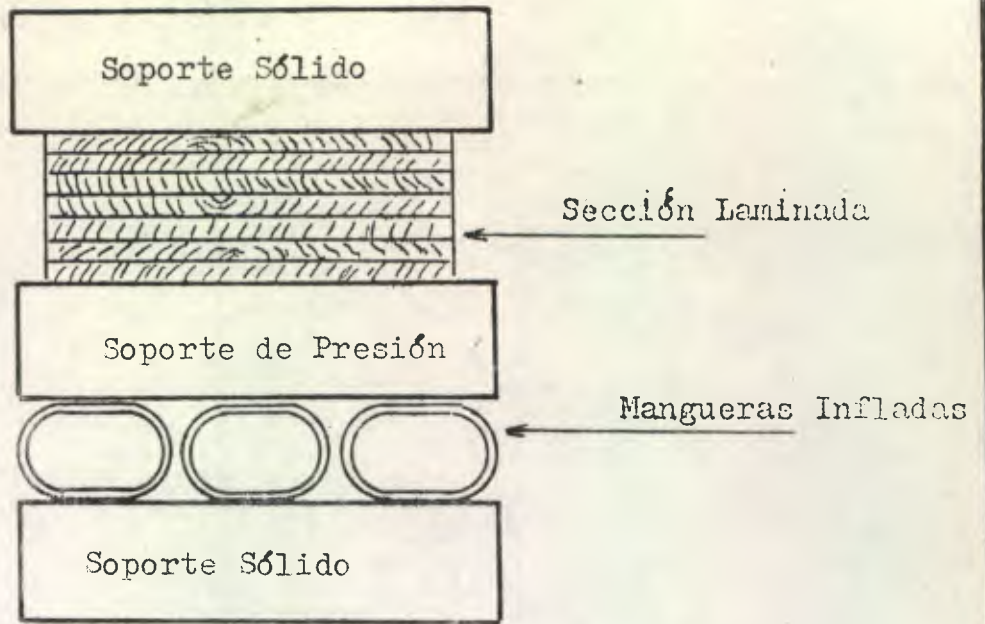


Fig. No. 4

Método de Presión por Manguera de Incendio

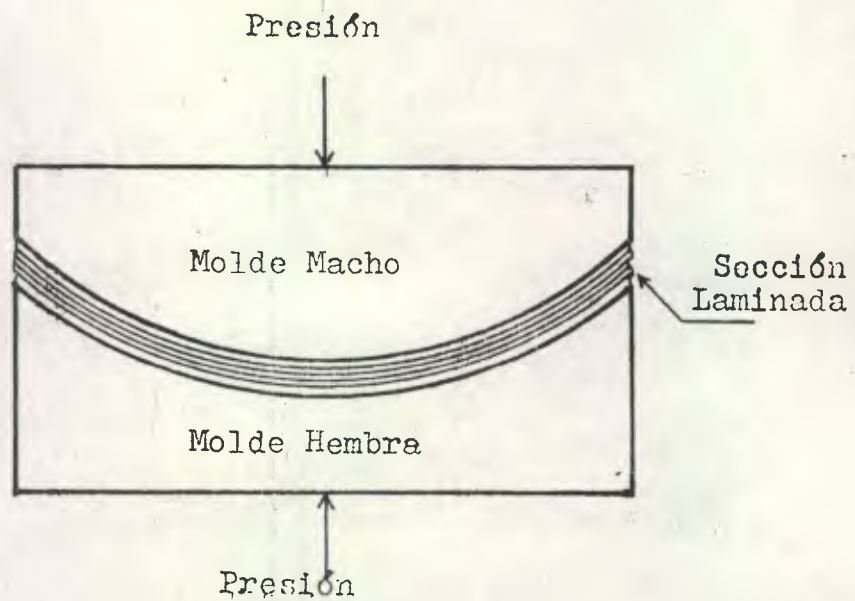


Fig. No. 5

Moldes Macho - Hembra

#### 3.1.4.6 Método Clavado

Cuando las facilidades del fabricante son limitadas se emplean clavos, para aplicar presión a ciertas uniones de laminados pegados, el procedimiento es el siguiente: el primer lienzo es doblado alrededor de un molde, luego cada lienzo sucesor es engomado y clavado al primero éste proceso se repite sucesivamente hasta que la sección laminada es construida al grosor deseado.

Este procedimiento presenta su importancia en el hecho que tiende a ofrecer posibilidades para el individuo que desee hacer algunas laminaciones estructurales sin un equipo pesado y a bajo costo. Es de esperar que la calidad de este tipo de laminados no podrá ser igual a los otros que se fabrican con equipos especiales y de alto costo pero si es muy práctico si el fabricante no posee el equipo adecuado y son los inicios de la industria de Madera Laminada.

#### 3.1.4.7 Formas Macho-Hembra

Es este uno de los métodos más usados en la fabricación de miembros laminados, se le conoce con el nombre de moldes macho-hembra, este tipo se muestra en la fig. No. 5.

En las formas macho-hembra la presión puede ser aplicada por medio de tornillos o grapas y debe de ser lo suficientemente fuerte de acuerdo a las especificaciones de goma para poder obtener la forma deseada. Así mismo pueden ser aplicadas presiones hidráulicas y en recientes casos a resultado bastante económico para preparar series de distintas formas y se requiera presionar varios ensambles simultáneamente (ver fig. No. 6).

La presión impuesta puede ser mantenida asegurada o aumentada por medio de tornillos estas formas son generalmente hechas de madera y deben de estar bien cubiertas con un antiadhesivo, pero formas de metal también pueden ser usadas.

Obviamente las formas macho-hembra deben ser cortadas de acuerdo a la forma requerida, los moldes pueden guardarse y -

ser utilizados las veces que se necesiten.

Una alternativa a la forma hembra es una banda de metal provista de tornillos, los cuales se aprietan para impartir presión como aparece en la fig. No. 7, cualquiera de estos dos métodos están abiertos a la objeción, que la mayor presión debe ser aplicada en el vértice del doblado y las orillas esta objeción puede ser válida hasta cierto punto, que conllevará a la aplicación del método macho-hembra en segmentos cada uno provisto de sus respectivas abrazaderas independientemente como lo muestra la fig. No. 8.

También es factible la presión radial a varios puntos de una banda flexible actuando en lugar de molde tipo hembra, este arreglo se representa en la fig. No. 9, en donde las abrazaderas consisten en un número de maderas finas predobladas a la forma requerida.

#### 3.1.4.8 Presión Líquida para Laminados Curvos

El mejor método de aplicación uniforme de presión sobre el área completa del doblado, es la presión líquida una de las formas de hacer esto es incorporando una manguera o tubo entre el molde y la laminación, después de doblar la laminación pegada y asegurar la forma en la posición requerida el tubo es inflado por medio de aire o agua hasta que la presión deseada aparezca en el gauge (ver fig. No. 10), esto implica que la presión es aplicada radialmente y uniformemente a lo largo del doblado.

Una de las ventajas de este método es que solamente se utiliza un molde, el cual ha de ser cortado según la forma requerida, usualmente no es la forma macho la que se emplea como molde puesto que la operación de doblado es performada más fácilmente redonda o convexa, en algunas instancias la bolsa de hule puede tomar el lugar del molde macho en cualquier caso el ensamblamiento es doblado primero a mano, aproximándolo a la forma hembra luego presionando firmemente a la forma deseada por medio de presión líquida (ver fig. No. 11).

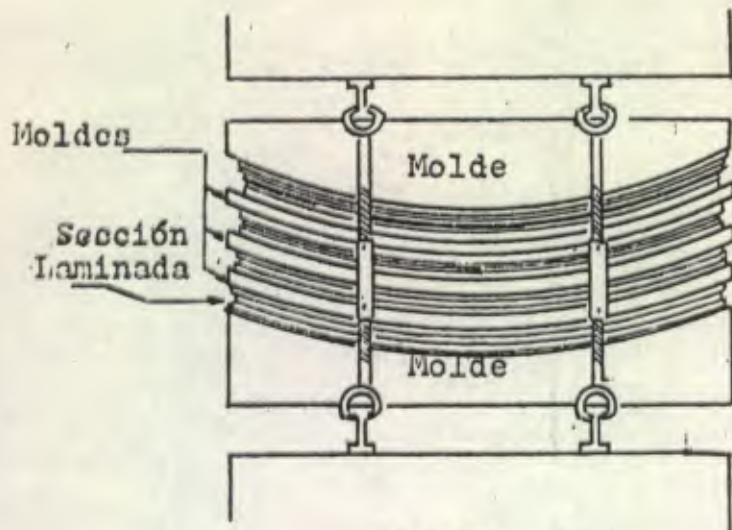
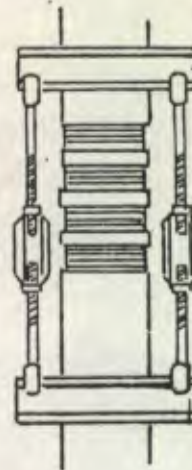


Fig. No. 6



Detalle de Pernos

Formas Macho- Hembra, presión aplicada por medio de  
Pernos

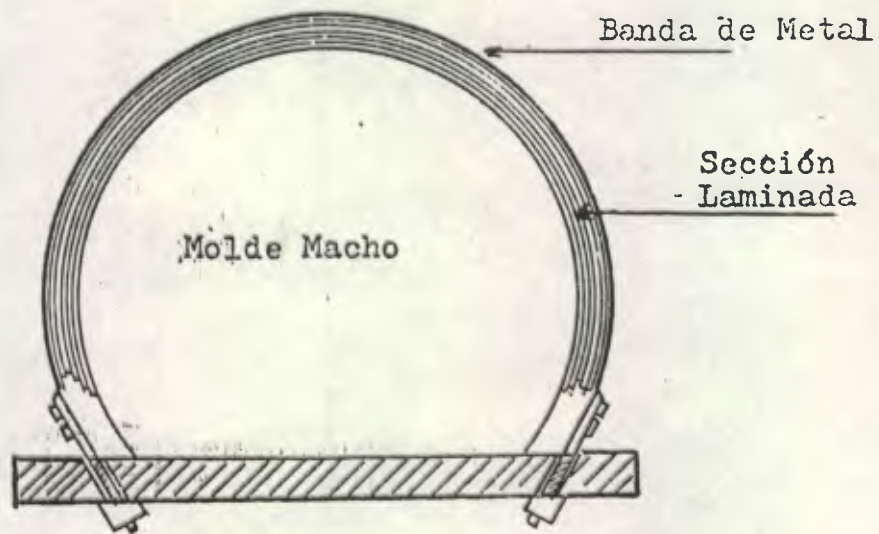


Fig. No. 7

Forma Hembra con banda de Metal



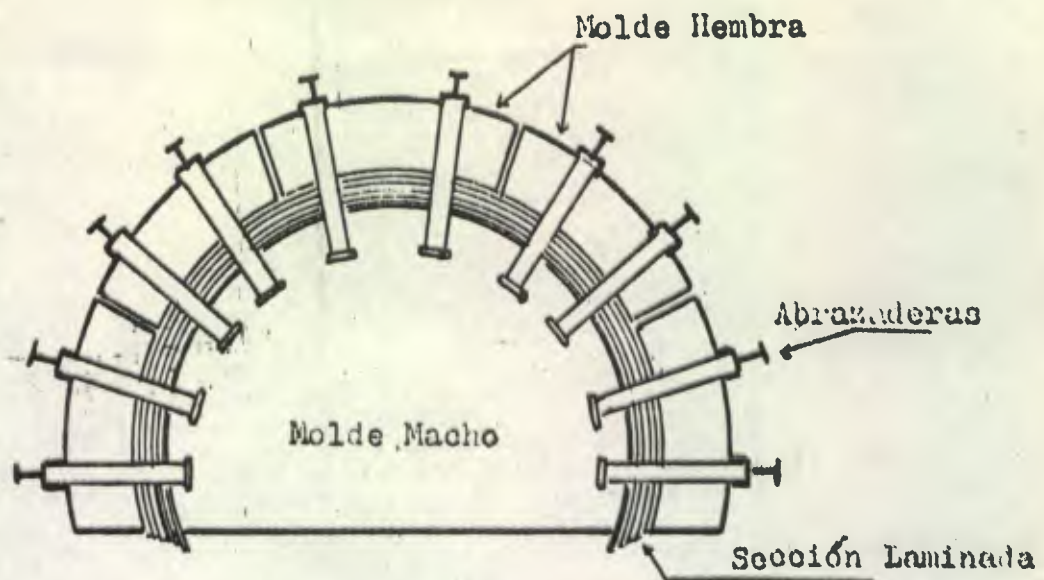


Fig. No. 8

Molde Hembra Segmentado utilizando Abrazaderas  
Para ejercer Presión

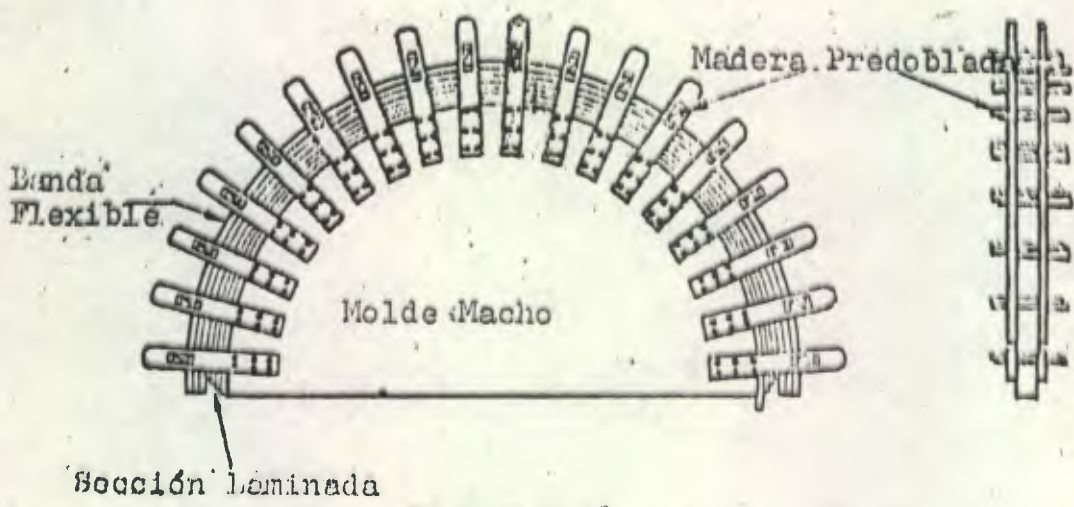


Fig. No. 9

Presión radial utilizando Madera Predoblada

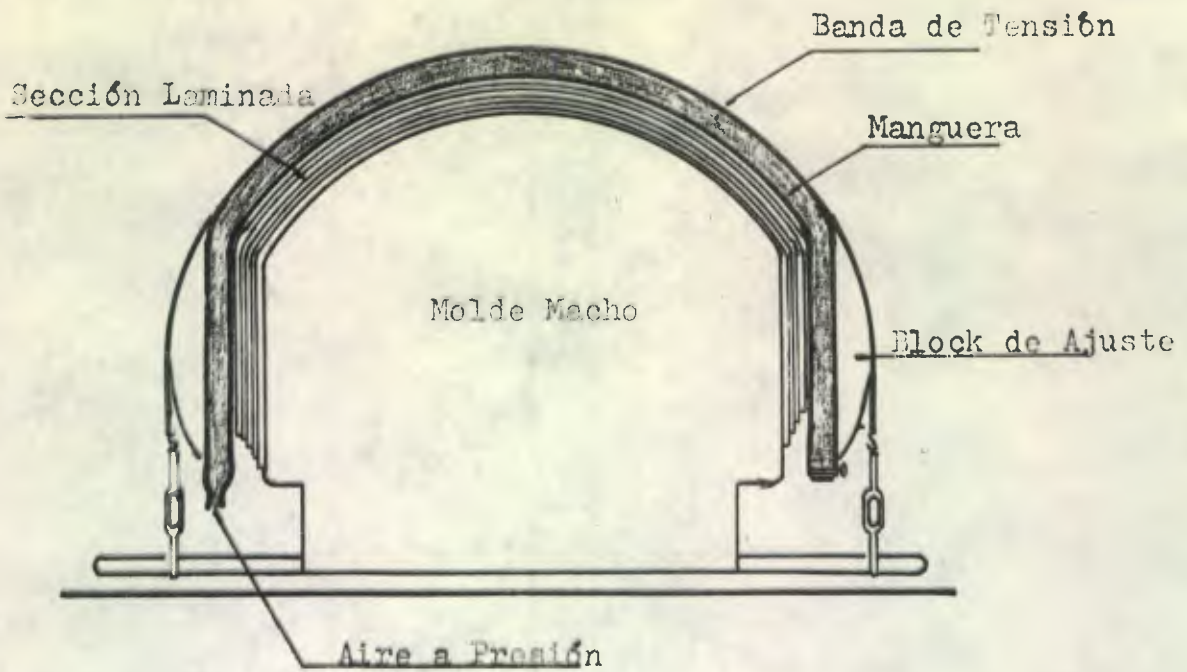


Fig. No. 10

Presión Líquida

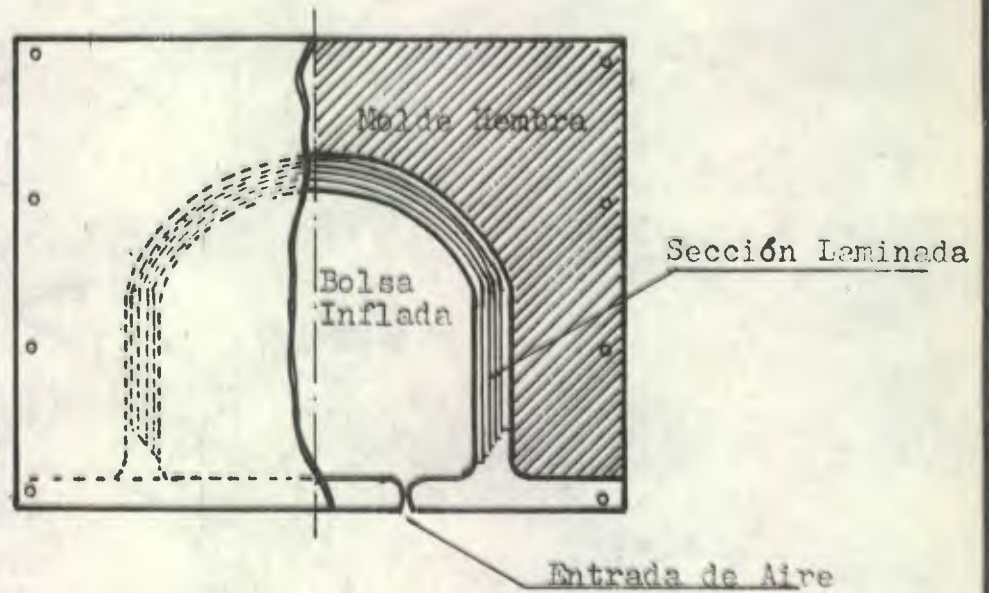


Fig. No. 11

Presión por medio de bolsa de hule

"De una forma similar a la descrita un lienzo de hule o banda puede tomar el lugar de la moldura hembra en la fig. No. 12 aparecen ensamblamientos en donde las laminaciones y moldes son colocados dentro de una bolsa de aire doblados y presionados a la forma deseada, al desinflar la bolsa de aire expone la madera a la presión atmosférica la cual debe ser de por lo menos 14 lbs./pul<sup>2</sup> y ésta actúa sobre el miembro laminado para concluir el proceso de pegado".(1)

#### 3.1.4.9 Intercalados Laminares

El método de producir injertos en partes dobladas es usualmente adoptado, cuando el acabado de un miembro de madera aunque sea de forma recta con tendencia a una porción curva.

Este método consiste en hacer que una sierra longitudinal corte en intervalos las partes a ser dobladas, procurando que el contorno de la parte quede lo suficientemente gruesa para evitar fracturas a la hora de efectuar la operación de doblar las laminaciones a pegar deberán ser cortadas a la medida exacta de acuerdo a las medidas de los huecos(ver fig. No. 13) en donde deberán ser incertadas.

Es pues necesario que el grosor de los injertos y los huecos sean iguales para que al momento de realizar el doblar se pueda hacer sin ninguna dificultad de fracturación. Para evadir secciones débiles las cuñas usadas en los injertos deberán ser de longitudes variables y lograr de esta forma que las esquinas de los injertos queden seguras.

#### 3.1.4.10 Tubos Laminados

El método continuo que ya fué descrito es el que sin lugar a dudas nos conduce a la producción de cilindros (ver fig. No. 14). Otro método que ha sido usado en los cascos de lanchas consiste esencialmente en doblar en forma atravezada la fibra formando cilindros los cuales encajan unos con otros, para que proporcionen el grosor requerido en las paredes.

---

(1) J. HUGH CAPRON, Wood Laminating. Mc Knight & Mc Knight Publishing Company, Illinois, Pag. No. 29

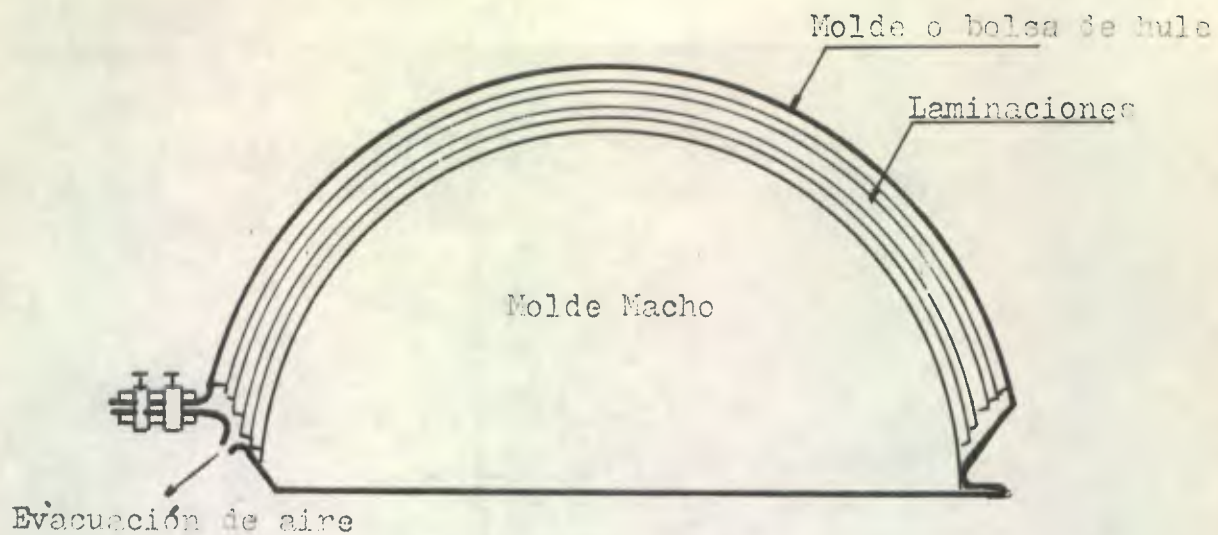


Fig. No. 12

Presión utilizando molde hembra de hule

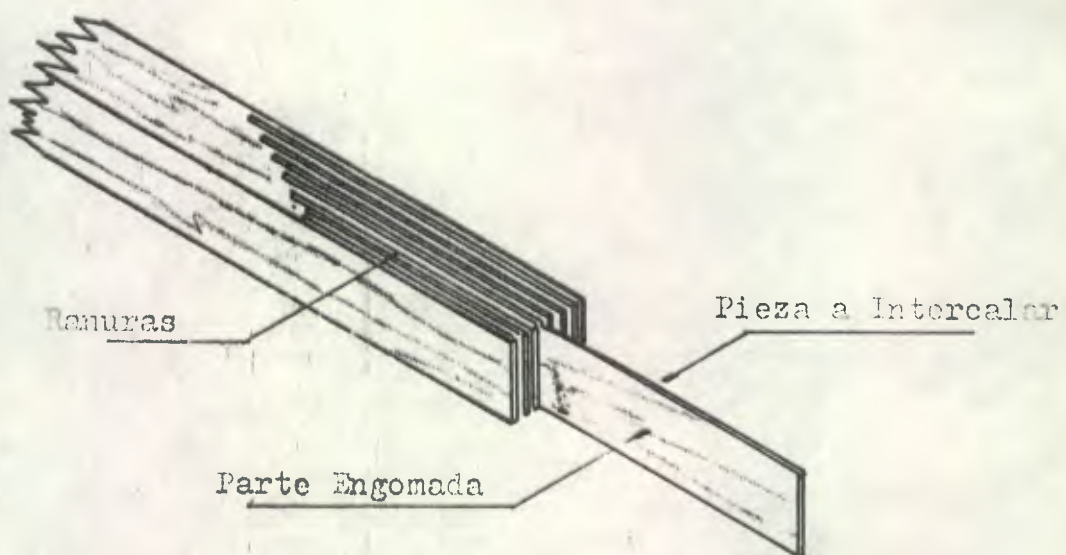


Fig. No. 13 A

Intercalados Laminares

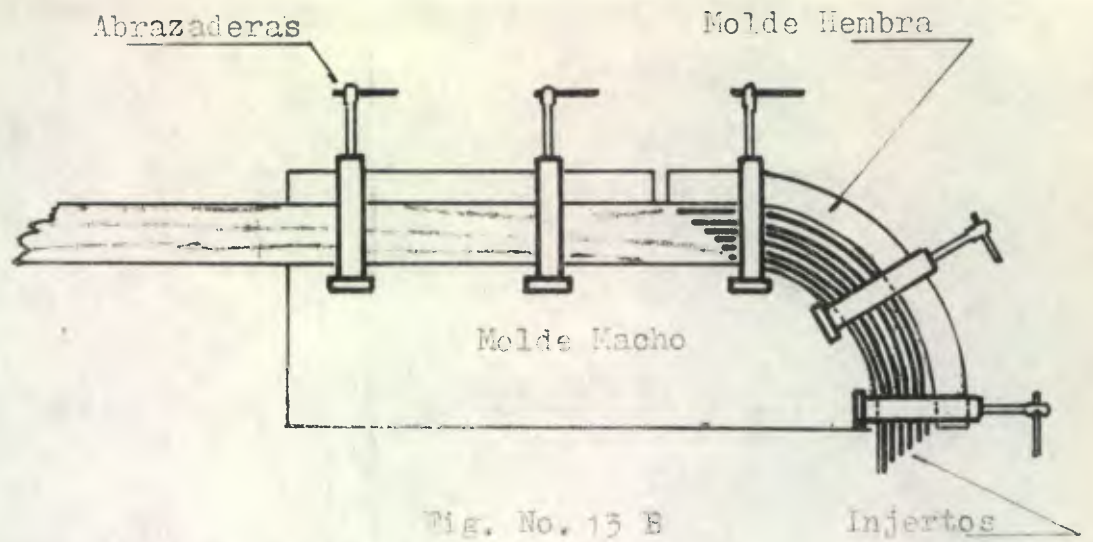


Fig. No. 13 B

Curva lograda con la intercalación de Laminados  
y presión a base de Abrazaderas

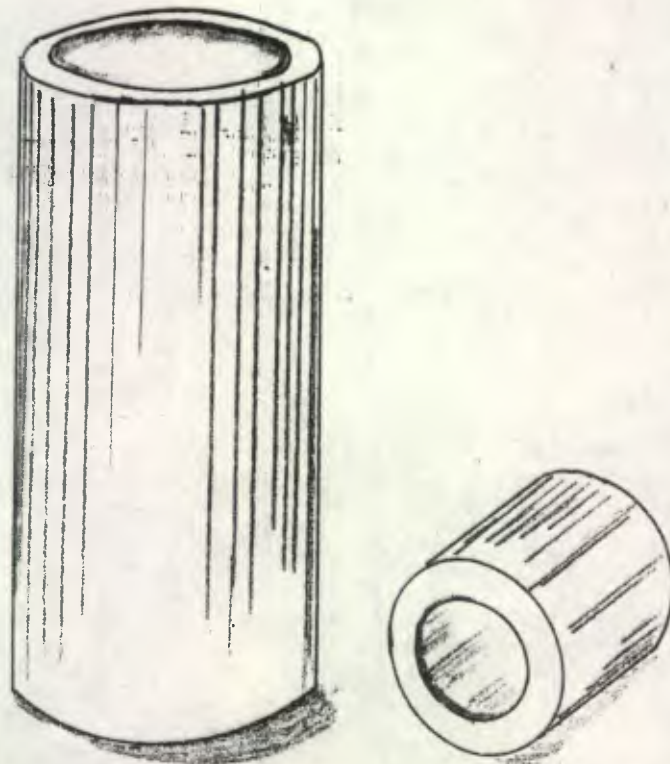


Fig. No. 14 Cilindros Laminados

### 3.1.5 FACTORES QUE INCIDEN EN LA PRODUCCION DE MADERA LAMINADA

Son varios y muy importantes los factores o consideraciones que deberán tomarse en cuenta para la fabricación de miembros laminados, se describen a continuación algunos de los factores de mayor relevancia.

#### 3.1.5.1 Clasificación de Madera para Laminar

Un estudio de productos laminados revela que por lo general un 90% de las especies de maderas pueden ser utilizadas para laminaciones, se ha hecho la siguiente clasificación: Maderas Suaves y Maderas Duras.

##### -Madera Laminada Suave:

Debido a la gran demanda de estructuras laminadas la industria utiliza grandes cantidades de maderas suaves, sobre todo para dobleces grandes, porque pueden ser obtenidas en grandes cantidades y calidades y a buen precio.

##### -Madera Laminada Dura:

La madera laminada dura es bastante popular sobre todo cuando se requieren estructuras que serán sometidas a un desgaste severo y de formas agraciadas, se encuentran disponibles en grandes cantidades en el mercado.

#### 3.1.5.2 Selección y Curado

La sección de madera debe ser cuidadosamente seleccionada pues es criterio dentro de los fabricantes de laminados la utilización de madera totalmente sana o sea libre de afecciones como: Nudos, Rajaduras, Reventaduras, Descantillado y Pudrición. Otro de los factores a tomar muy en cuenta es el curado que debe aplicarse a la Madera Laminada para lograr mayor eficiencia en ésta como material estructural, por consiguiente es determinante el requerimiento de adhesivos con propiedades de durabilidad a exposiciones severas, los diversos métodos y formas de curado para laminados serán descritos en el capítulo No. IV sección 4.1.

#### 3.1.5.3 Proceso de Pegado

El proceso de pegado y la selección de la goma es un --

factor a tomar muy en cuenta para la fabricación de miembros laminados, así mismo puede ser usada cualquier tipo de goma, pero los aspectos a considerar serán el costo, rapidez en el pegado y resistencia principalmente a la humedad.

#### 3.1.5.4 Factor Diseño

Además de los factores propios del material se debe tomar en cuenta el factor diseño en proyección de un trabajo económico, estético y funcional, dentro de este factor es necesario considerar los aspectos siguientes:

##### 3.1.5.4.1 Grados de Apariencia

Se han desarrollado especificaciones para dos grados de apariencia en Madera Laminada, éstos son Industrial y Arquitectónico, en el tipo industrial es ordinaria y se le usa para la construcción de bodegas, garages y otras en donde la apariencia no es un factor importante, pero en el grado Arquitectónico cualquier rajadura o astilladura debe ser rellenada con el mismo material y color a fin de lograr una superficie homogénea y estética.

##### 3.1.5.4.2 Sistemas de Marcos

Una gran variedad de sistemas de marcos estructurales están disponibles, la economía relativa de cualquiera de estos sistemas depende en lo particular de los requerimientos de diseño.

Las consideraciones que se describen tienen por finalidad reducir los costos y lograr formas funcionales, para uniones simples se recomienda el uso de empalmes para minimizar el diseño y problemas de alzado, para evadir variaciones innecesarias, se debe de tener el cuidado de que todas las laminaciones sean iguales, así mismo debe guardarse la simetría en el tipo de estructura empleada.

Ciertos perfiles de cubiertas pueden afectar la cantidad y peso de la estructura y puede por lo tanto afectar económicamente. Usualmente una mayor economía resulta diseñando la capacidad de carga más que al grado de madera a usar.

El empleo de voladizos y espacios suspendidos en vigas -  
tienden a un balance entre momentos positivos y negativos.

#### 3.1.5.5 Factor Economía

El factor economía es uno de los que determinan que un -  
proyecto tenga éxito o por el contrario su fracaso y mancomu-  
nadamente a esto va el criterio del diseñador, pues de un ---  
buen trabajo de éste se tendrá una economía máxima, en conse-  
cuencia cada estructura debe ser debidamente analizada cum---  
pliendo con los requisitos de utilidad y economía satisfacto-  
riamente.



CAPITULO No. IV

4. CAPITULO No. IV

4.1 PROCESOS DE SECADO Y CURACION DE LAMINADOS

El control del contenido de humedad en la madera es sumamente importante pues cambios dimensionales en ésta, primordialmente se deben por el aumento ó pérdida de humedad.

La madera se contrae y se expande en dirección perpendicular a la fibra y no sufre ningún cambio dimensional paralelo a la fibra.

Una vez que la humedad contenida ha sido disminuida en la fibra, punto de saturación aproximado entre 25-30% la madera sufre contracción y eventualmente alcanza su condición equilibrada.

Si la madera sufre humedad después de haber sido instalada seca, se expandirá aumentando en dimensiones y algunas veces sufrirá distorsión.

"Antes de proceder al pegado debe tenerse el cuidado que la madera haya alcanzado una humedad media de no más de 15% - ni menos de 10%, con una variación no mayor de 5% en el contenido de humedad entre las piezas incorporadas para formar una pieza armada. (1)

Aparte de ser un procedimiento de larga duración, el secado de miembros laminados largos son usualmente asociados -- con grados de curación y ésto se logra obviar cuando se usan laminaciones delgadas.

Para lograr el secado apropiado y eficiente existen varios métodos de secado:

-Cuartos de Calentamiento:

Es uno de los métodos más prácticos, para proporcionar una temperatura adecuada.

Este consiste en un cuarto en donde el aire, la temperatura y la humedad están rígidamente controlados, este método es particularmente satisfactorio en el pegado de laminaciones largas como el caso de estructuras para barcos y techos y re-

---

(1) IBID, CAPRON Pag. No. 32

quieren que la pieza sea expuesta a la temperatura hasta que alcance la forma adecuada.

El control de la humedad es estricto en estos cuartos -- cuando la operación de curación está en proceso, un cambio en la humedad mientras se desarrolla la operación puede conducir a defectos indeseables en la madera.

- Modificaciones en los cuartos de curación se emplean por algunos fabricantes, quienes encuentran que el método anterior es impráctico y muy oneroso pues ellos logran un efecto similar sosteniendo las laminaciones pegadas sobre tubos de vapor la temperatura que expulsan los tubos está confinada al área pegada (ver fig. No. 15), en este sistema no se lleva un control tan estricto como el que se hace en un cuarto de calentamiento.

En algunos casos se inserta un termómetro en las uniones pegadas, éste tiene la particularidad de saltar de la union -- cuando se ha alcanzado la temperatura deseada (ver fig. No.16)

- Temperatura Radiante:

Calentadores Eléctricos o lámparas especiales pueden ser usadas para obtener temperatura radiante, pues en tratamientos de ensamblamientos pegados este método no es del todo satisfactorio para laminados grandes, pero sí es efectivo para laminaciones pequeñas. La principal desventaja del método es -- la falta de control de humedad, pues tiende a reducir la humedad contenida en la madera, causando defectos en cuanto a la resistencia de la unión pegada.

- Lienzos Eléctricos:

Un desarrollo reciente en tipos de calentamiento para uniones de Madera Laminada Pegada, es el llamado lienzo eléctrico, éste consiste en un lienzo de hule vulcanizado de aproximadamente 1/10 de pulgada de grosor, el cual se coloca en la superficie de la laminación durante el tiempo de curado.

Cuando la pieza ha sido ensamblada el generador de temperatura se prende para dar principio al calentamiento de los -- lienzos que cubren la madera.

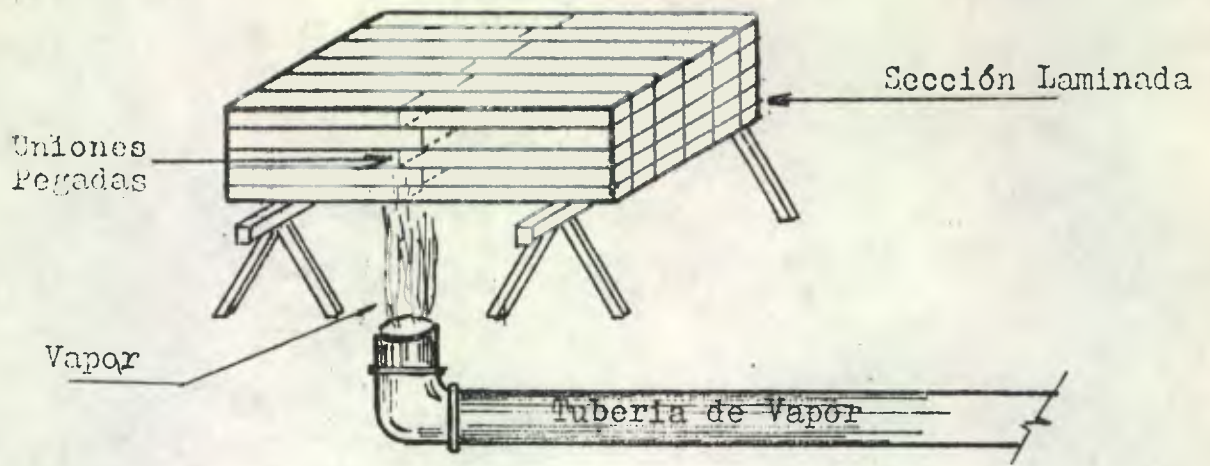


Fig. No. 15

Proceso de Curación a través de Vapor

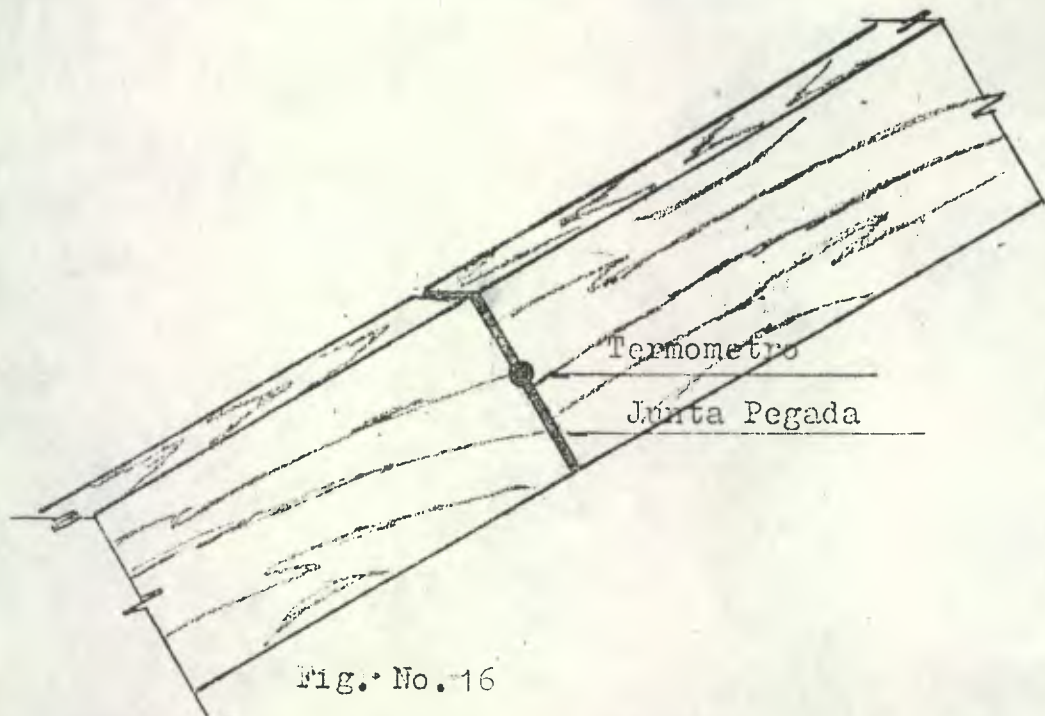


Fig. No. 16

La figura indica donde se a colocado el termómetro dentro de la Unión

Temperaturas de aproximadamente 200°F pueden ser aplicadas con intervalos de 10 minutos; el grosor de la madera es factor determinante en cuanto al tiempo que puede ser expuesto el ensamblamiento a la temperatura, la figura No. 17 es un ejemplo simplificado de presión laminada, lista para ser usada con lienzos calientes, nótese que el termómetro ha sido insertado cerca de la superficie pegada y esto hará posible el chequeo constante de la temperatura interna.

- Otras Consideraciones:

Para que la Madera Laminada produzca entera satisfacción y durabilidad, deberá ser curada adecuadamente con tratamientos preservativos, esto se obtendrá aplicando gomas de Resorcinol, tomando cuidado especial en remover cualquier depósito de sales propias de la madera.

Otro de los métodos usados es proporcionando presión impregnada de preservativos y aplicada directamente al ensamblamiento completo y no individualmente a cada laminación. Cuando existen peligros de picaduras o agrietaduras se tratará esta situación cepillando o aplicando un spray tratante con alto grado de absorción de agua.

Laminaciones que serán dobladas en curvaturas severas deberán ser de fibra recta y gruesa, libres de nudos y defectos para que proporcionen mayor flexibilidad al doblarla sin que se produzcan fracturas o rajaduras.

En el campo de la preservación mundial contra hongos e insectos, las formulaciones de compuestos de cobre/cromo/arsénico han estado en uso comercial por más de 40 años. En 1931 Falk y Kamesam razonaban que los compuestos arsenicales podrían ser fijados en la madera y que no serían lixiviados cuando se utilizarán en contacto con el agua o con el suelo, realizaron una serie de experimentos con pentóxido de arsénico y dicromato de potasio para establecer la formulación más adecuada obteniendo un producto que denominaron Falkamesan, a partir de la fecha han surgido gran cantidad de productos preservadores más efectivos y hoy en día son los de mayor consu-

mo mundial, el cobre y el arsénico son elementos tóxicos y el cromo es un agente de fijación.

- Preparación de Superficies:

Especial cuidado se deberá tomar en la preparación de superficies librándolas de polvo, cenizas o aceites, esto se logra por medio de cepillos mecánicos o aplicando cera parafinada, aunque este método no es muy recomendable porque puede influir negativamente en el pegado.

4.2 ADHESIVOS EMPLEADOS PARA LAMINACIONES

Las gomas o adhesivos son generalmente seleccionados dependiendo de las bases de durabilidad bajo condiciones de humedad a que la estructura deberá ser expuesta, pero también existen otros factores tales como costo, uso fácil en su aplicación y características de curación, todo esto ejercerá gran influencia en su selección.

Las gomas para trabajos de madera fueron disponibles antes de 1930, y eran fabricadas de materias naturales, pero durante los últimos 25 años han habido grandes cambios en la industria de la goma, sin embargo la más sobresaliente es el tipo de goma resistente al agua con el apareamiento de ésta evolucionó enormemente el empleo de Madera Laminada en construcción. Desde entonces los fabricantes han descubierto muchos adhesivos químicos y de allí se generó una división lógica en dos clases de pegamentos Naturales Y Sintéticos.

4.2.1 PEGAMENTOS NATURALES

Hay dos clases de uso común para la aplicación en Maderas Laminadas:

4.2.1.1 Los que provienen de animales y son elaborados con sustancias gelatinosas, provenientes de huevos de animales y es una de las gomas más antiguas, usadas en trabajos de madera y sigue destacando por su alto grado de resistencia y la invisibilidad de su uso.

Sin embargo el uso de esta goma presenta inconveniencia pues requiere de calentamiento previo a utilizarse, también -

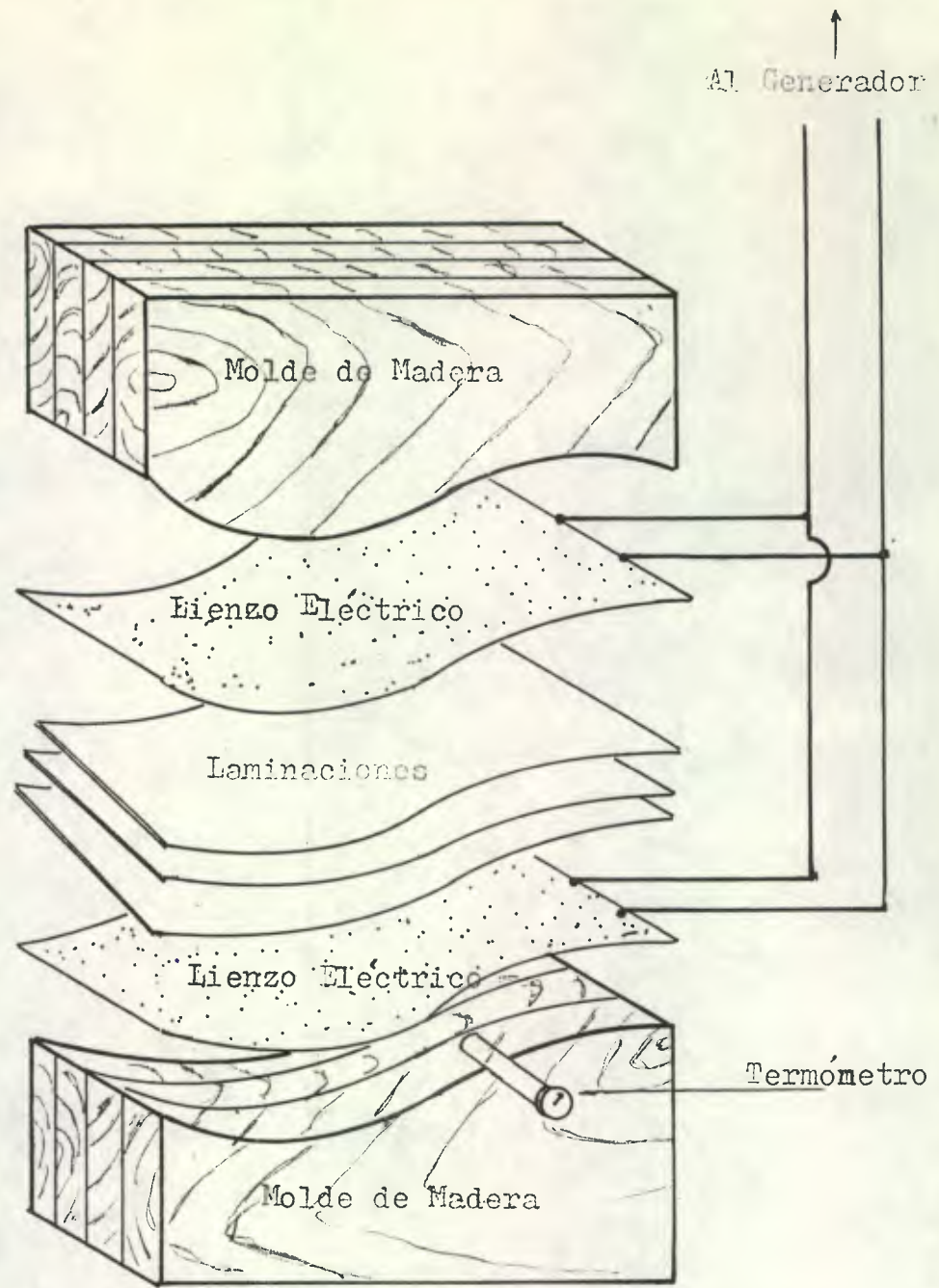


Fig. No. 17

Curado por medio de Lienzos Eléctricos

se presenta como inconveniente el secado casi instantáneo y - en Madera Laminada se requiere que la goma sea aplicada en to dos los miembros de ensamblamiento antes de ser presionada.

La segunda desventaja es que tiende a despegarse con la humedad y eventualmente causa deslaminación de la estructura.

Este tipo de pegamento es recomendable en miembros de ma dera laminada muy pequeños y que el tiempo de ensamblamiento sea de corta duración.

#### 4.2.1.2 Goma Casein

Esta fue la primera goma resistente al agua, también es una goma de origen natural y es vendida en polvo, para su uso basta mezclarla con agua, según las instrucciones, es muy to lerante en cuanto a manufactura y simpleza de aplicación, así mismo en la de versatilidad más elevada se le utiliza en unio nes con bastante exposición a la humedad y agentes externos.

Sin embargo presenta la desventaja que si se usa con ma dera que contenga acidez, se tornará oscura y por tal razón se recomienda una pequeña prueba previa a su uso.

En conclusión podemos decir que ésta es la goma más des- tacada por su alto grado de resistencia y ha presentado resul tados satisfactorios en trabajos con Madera Laminada.

#### 4.2.2 GOMAS SINTETICAS

En contraste con las gomas naturales existen en el merca do una gran cantidad y variedad de gomas sintéticas, las más importantes son: Urea, Resorcinol y Curada.

##### 4.2.2.1 Goma Urea:

Llamada también goma plástica y es la más popular entre las gomas en polvo sintético, también se encuentra disponible en pequeñas cantidades y es de larga durabilidad, es también muy usada en trabajos estructurales y es considerada como más resistente a la humedad que la goma casein, pero no muy efec tiva bajo situaciones de temperatura muy alta ya que si es ex puesta a mucho calor su grado de resistencia es mermado. Sin embargo puede alcanzar un grado de mayor resistencia si se -- mezcla con "Melamine" ó Resorcinol, pero esto es considerado



como adhesivo fortificado y su precio es más costoso, también requiere de temperaturas altas para su curación.

La goma Urea es mucho más resistente contra plagas, hongos y estos factores combinados con su bajo costo y su considerable resistencia la hacen más apetecida para muchas aplicaciones aunque es de hacer notar que para las aplicaciones de goma es requerimiento que la madera no exceda su grado de humedad de un 15%.

#### 4.2.2.2 Goma Resorcinol:

Esta es considerada como la más efectiva en cuanto a su resistencia al agua, siempre y cuando se haya mezclado según instrucciones, es el tipo de pegado que tiene mayor demanda - en trabajos pesados en donde las estructuras laminadas estarán expuestas a condiciones climatológicas muy severas, temperaturas o humedades muy altas.

El período de tiempo requerido en el pegado será de aproximadamente 16 horas, si se emplea bajo temperaturas normales pero se logran procesos de pegado más rápidos si se cuenta -- con temperaturas más altas.

Se puede adquirir en pequeñas cantidades y es vendida en dos recipientes (botes) uno contiene el polvo y el otro el líquido mezclador y agente endurecedor.

#### 4.2.2.3 Goma Curada:

Este nombre se ha dado al procedimiento que indica, muchas variedades de gomas secan más rápidamente si han sido curadas en cuartos calientes, diferentes métodos han sido desarrollados para el calentamiento de uniones pegadas y así apresurar el pegado, lo que ha dado resultados satisfactorios.

#### 4.2.3 APLICACION DE PEGAMENTOS

Hay muchos métodos en la aplicación de pegamentos pero - el más aconsejable es el hecho a mano y el más usado es el aplicable con una brocha.

Es usualmente recomendable que a las dos superficies se les aplique la goma uniformemente, piezas grandes pueden ser engomadas con rodillos de hule.

#### 4.2.4 OTRAS CONSIDERACIONES

Para obtener un eficiente pegado de resistencia máxima - es recomendable que la madera contenga un grado de humedad entre 7 y 15% en algunos casos es aceptable un grado de 25% al hacer uniones usando gomas de Resorcinol, Resina ó Caseín.

La madera absorbe humedad de la goma durante la manufacturación de los miembros laminados y ésto se debe de tomar en consideración para calcular el contenido de equilibrio de humedad.

Puesto que el contenido de humedad es tan importante, -- constantes chequeos deberán hacerse en laminaciones antes de su preparación y ensamblamiento.

Para acelerar el pegado y contrarestar el contenido de - humedad, pueden emplearse temperaturas calientes a los componentes laminados, así mismo pueden aplicarse temperaturas templadas.

La energía eléctrica juega un papel muy importante para la producción de temperaturas deseadas, dependiendo de variables tales como: tamaños, formas de estructuras, tipos de uniones y pegamentos, pero se ha podido comprobar que usando - 0.27 Watts Cm.<sup>2</sup> aproximadamente 1/4 Kw. por pié<sup>2</sup> se ha encontrado bastante satisfactorio, en el pegado de laminaciones -- gruesas.

#### 4.3 UNIONES UTILIZADAS EN MADERA LAMINADA

Hay varias formas en que se pueden empalmar las láminas - para formar miembros estructurales entre éstos los más importantes son:

- 1) Junta empalme Plano o Tope
- 2) Junta empalme Biselada
- 3) Junta empalme Dentada (tipo Macho-Hembra)

Es importante que al momento de realizar los empalmes -- las piezas ó laminas tengan un contenido de humedad bastante uniforme y tan cercano como sea posible al contenido de humedad que tendrá el miembro acabado.

4.3.1 Juntas Empalme Plano:

Estas presentan poca resistencia ante esfuerzos de tensión por lo cual no son muy utilizados para miembros que serán sometidos a este tipo de esfuerzo más sin embargo si se emplean en miembros que serán sometidos a esfuerzos de compresión ya que para esto se requiere que todas las laminaciones del miembro estén unidas por el mismo tipo de ensamble (ver fig. No. 18).

4.3.2 Junta Empalme Biselada:

"El tipo de empalme biselado tiene la característica que es bastante resistente tanto a esfuerzos de tensión como compresión".(1)

La resistencia de las juntas biseladas aumentan cuando la inclinación disminuye (ver fig. No. 19).

4.3.3 Junta Empalme Dentada:

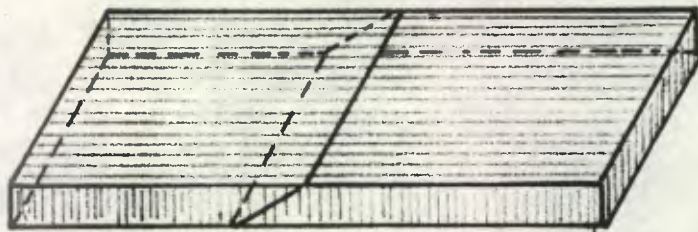
Este tipo de uniones puede ser de alta resistencia cuando se logra que los dientes tengan superficies lisas, son esencialmente una serie de juntas planas de allí que si se aumenta el área efectiva de empalme en la zona de concentración de esfuerzos proporciona una alta resistencia (ver fig. No.20)

---

(1) IBID, MERIDA, Pag. No. 30



Fig, No, 18 Empalme Plano



Fig, No, 19 Empalme Oblicuo

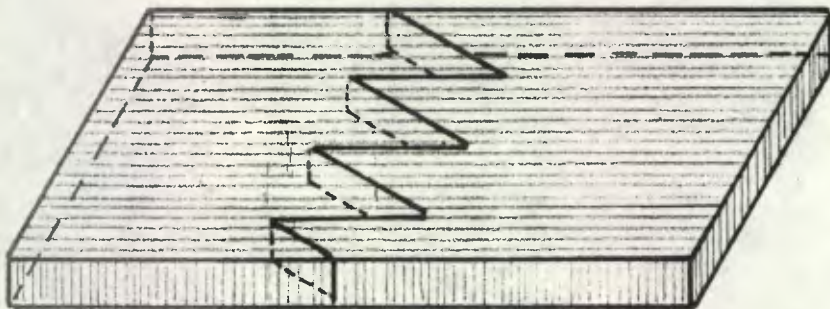


Fig. No. 20

Empalme dentado

CAPITULO No. V

5. CAPITULO No. V

5.1 CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA PREVIAS AL DISEÑO DE MIEMBROS LAMINADOS.

5.1.1 Madera para Miembros Estructurales

A diferencia de otros materiales de construcción la madera no es un material elaborado, sino que orgánico y que -- generalmente se usa en su estado natural, de los factores -- que influyen en su resistencia los más importantes son: La -- densidad, los defectos naturales y su contenido de humedad.

"A causa de los defectos y las variaciones inherentes a la madera, es imposible asignarle esfuerzos unitarios de trabajo, con un grado de precisión como se hace con el acero y el concreto!"(1)

Los árboles cuya madera se emplea en construcción se -- clasifican en dos grupos, los de madera blanda como los Pi-- nos, Cipreses y los de madera dura como los Encinos, no obstante los términos de madera dura y madera suave no indican el verdadero grado de dureza de las diferentes especies.

Con mucha frecuencia se le llama al material estructu-- ral maderaje o madera gruesa, debido a que la resistencia de la madera varía de acuerdo al tipo de carga a la que se expone, así pues es necesario clasificar la madera de acuerdo a su uso y de esta forma se obtienen: Vigas y Largueros, Viquetas y Tablones, Postes y Madera gruesa.

5.1.2 Duración de Carga

Una de las características de la madera y que es valedera para miembros laminados es que se debe de tomar en cuenta el tiempo durante el cual se aplica una carga, pues una fuerza aplicada repentinamente en unos cuantos segundos de duracion quizás no produzca daños a un miembro, pero si la misma fuerza se aplica durante un período mas largo puede producir falla en la estructura.

Se considera una condición de carga normal cuando se aplica toda la carga máxima normal de proyecto, durante 10 años aproximadamente o 90% de la carga máxima de proyecto ---

---

(1) IBID HANSEN, pag. No. 276

aplicada continuamente durante la vida de la estructura.

Cuando la duración de carga máxima completa no exceda - el período indicado el esfuerzo unitario admisible se aumenta en la forma sig. 15% por dos meses, 25% para siete días - de duración, 33% para vientos o terremotos y 100% para impac- tos.

### 5.1.3 Factor de Curvatura

La carga aplicada sobre miembros laminados curvos produ- ce esfuerzos a través de la fibra, lo cual reduce la resis- tencia del miembro laminado, la reducción es dada por la fór- mula sig.

$$C = 1 - 2000 \left( \frac{t}{R} \right)^2$$

En donde: C = Factor de Curvatura  
t = Espesor o grosor de Laminación (pul)  
R = Radio de Curvatura (pul)

La relación t/R no debiera exceder de 1/100 para maderas duras y pinos y 1/125 para maderas suaves o blandas.

Los esfuerzos radiales inducidos por las cargas deben - ser chequeados por la relativa baja resistencia de la madera en el sentido perpendicular a la fibra. "El radio mínimo re- comendable para estructuras de madera laminada curvas es de 9 pies 4 pulgadas, para laminaciones de 3/4" de espesor y ra- dios de 27 pies 6 pulgadas para laminaciones de 1 1/2" de es- pesor aunque otros radios pueden ser usados para estos dos es- pesores de laminaciones"(1).

### 5.1.4 Factor Tamaño

Cuando la profundidad de una viga rectangular excede de 12" los esfuerzos que se calculen deberán reducirse por la - multiplicación del factor tamaño (Cf) como se determina por la fórmula sig.

$$C_f = \left( \frac{12}{d} \right)^{1/9}$$

En donde: Cf = Factor Tamaño  
d = Peralte de la Sección (pul)

o consultando las tablas para valores tabulados de Cf (ver - tabla No. 2)

---

(1) IBID, MERIDA, pag. No. 23

El factor tamaño es aplicable a una pieza curva siempre y cuando satisfaga las siguientes condiciones:

- Viga simplemente soportada.
- Carga uniformemente distribuida.
- Tramos para razón de profundidad  $l/d=21$

#### 5.1.5 Otras Consideraciones

Como se ha mencionado los miembros laminados pueden --- construirse en una cantidad infinita de formas y tamaños, pe- ro resulta económico utilizar laminaciones standard (ver ta- bla No. 3). Es recomendable el uso de laminaciones de 1 1/2" para miembros rectos y el empleo de laminaciones de 3/4" de espesor para arcos.

Cuando el radio de la curvatura es demasiado corto para permitir el uso de laminaciones de 1 1/2" de ancho, entonces otros espesores pueden ser utilizados para satisfacer requere- rimientos especiales.

#### 5.1.6 Grados Estructurales de Maderas Guatemaltecas

Para las maderas nacionales se emplean tres grados es- tructurales: Maderas Grado "A"  
Maderas Grado "B"  
Maderas Grado "C"

Se ha tomado como criterio para la anterior clasifica- cación que las maderas de grado A y B sean empleadas para es- tructuras permanentes y las maderas grado C para construc- ciones provisionales o auxiliares.

"La determinación de estos tres grados estructurales pa- ra maderas de Guatemala, se efectuó de acuerdo a la norma -- ASTM D245 (Tentative Methods for Establishing Structural Gra- des of Lumber) aplicando factores de reducción a los esfuer- zos básicos de maderas estudiadas en el Centro de Investiga- ciones de la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos" (1).

Es recomendable que la madera para todos los grados es- tructurales deberá ser sana, relativamente compacta y de den- sidad seca no menor del 10% de los valores consignados en la tabla No. 4, así mismo la madera debe estar libre de albura

---

(1) Ing. EMILIO BELTRANENA M. Determinación de los esfuer- zos Permisibles de Trabajo para Maderas Nacionales. Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC, pag. No. 13



PERALTE pul.	$C_F$	PERALTE pul.	$C_F$	PERALTE pul.	$C_F$
MENOR		33	0.89	57	0.84
QUE		34	0.89	58	0.84
12	1.00	35	0.89	59	0.84
12	1.00	36	0.88	60	0.84
13	0.99	37	0.88	61	0.83
14	0.98	38	0.88	62	0.83
15	0.98	39	0.88	63	0.83
16	0.97	40	0.87	64	0.83
17	0.96	41	0.87	65	0.83
18	0.96	42	0.87	66	0.83
19	0.95	43	0.87	67	0.83
20	0.94	44	0.87	68	0.82
21	0.94	45	0.86	69	0.82
22	0.93	46	0.86	70	0.82
23	0.93	47	0.86	71	0.82
24	0.93	48	0.86	72	0.82
25	0.92	49	0.86	73	0.82
26	0.92	50	0.85	74	0.82
27	0.91	51	0.85	75	0.82
28	0.91	52	0.85	76	0.81
29	0.90	53	0.85	77	0.81
30	0.90	54	0.85	78	0.81
31	0.90	55	0.84	79	0.81
32	0.90	56	0.84	80	0.81

TABLA No. 2

Esfuerzos para Factor Tamaño

Fuente: Timber Construction Manual, pag. No. 2-37

Anchos de Laminaciones

Ancho nominal (pulgadas)	3	4	5	6	8	10	12	14	15
Ancho acabado (pulgadas)	2 1/4	3 1/4	4 1/4	5 1/4	7	9	11	12 1/2	14 1/4

TABLA No. 3

Fuente: Uso de la Madera Laminada Pegada como Material Estruct.  
Ventajas de su Aplicación en Guate. pag. No. 17

y fracturas de la fibra a tensión o compresión, defectos producidos por volteo del árbol y por deficiencias de estibado y secado, bolsas de resina en gran número y libre de hongos.

#### 5.1.6.1 Maderas Grado A

"Las maderas clasificadas en este tipo, tendrán esfuerzos de trabajo de 85% de los esfuerzos básicos de las maderas nacionales. La inclinación máxima de fibra permitida es de 1:18 para piezas trabajando a flexión o tensión paralela a la fibra y 1:14 para piezas trabajando en compresión"(1).

#### 5.1.6.2 Maderas Grado B

Las maderas clasificadas en este grupo tienen esfuerzos de trabajo iguales al 70% de los esfuerzos básicos de las maderas consideradas. La inclinación máxima permitida de fibras es de 1:14 para miembros estructurales trabajando a flexión o tensión paralela y de 1:10 para miembros trabajando en compresión paralela a la fibra (2)(ver tabla No. 6).

#### 5.1.3.3 Maderas Grado C

Las maderas de grado C tendrán esfuerzos de trabajo con valores del 50% de los esfuerzos básicos. La inclinación máxima de fibra en flexión y tensión paralela será de 1:8 y en compresión paralela a la fibra de 1:6 (3) (ver tabla No. 7).

### 5.2 DISEÑO Y CALCULO DE VIGAS DE MADERA LAMINADA PEGADA

Las vigas de madera laminada pegada, agregan belleza a todo sistema estructural, las más utilizadas son las de forma piramidal, las cuales facilitan el drenaje del techo, haciéndolo más eficiente y estético. Las vigas piramidales de madera laminada más utilizadas son las vigas piramidales simétricas dobles, la sección piramidal debe ser en la parte superior de la viga (sección de compresión) (ver fig. No. 21)

#### 5.2.1 Procedimiento de Diseño de una Viga Doblemente Piramidal de Madera Laminada.

1. Determine el peralte mínimo en el extremo de apoyo, utilizando la fórmula sig.

$$de = \frac{3 R_v}{2b f_v}$$

---

(1) (2) (3) IBID, BELTRANENA, pag. 13

ESFUERZOS BASICOS PARA MADERAS GUATEMALTECAS APLICABLES (2) A MADERA VERDE O  
POCO SAZONADA Y MADERA SECADA AL AIRE ("A" "B" "C")

TABLA No. 4

ESPECIE	Peso seco aparente Gr/Cm <sup>3</sup>	Flexión estática Kg/Cm <sup>2</sup>	Módulo de elas- ticidad Kg/Cm <sup>2</sup>	Compresión paralela Kg/Cm <sup>2</sup>	Compresión perpendicu- lar Kg/Cm <sup>2</sup>	Tensión paralela Kg/Cm <sup>2</sup>	Tensión perpendicu- lar Kg/Cm <sup>2</sup>	Corte para- lelo Kg/Cm <sup>2</sup>	Clivaje Kg/Cm <sup>2</sup>	Dureza Kg/Cm <sup>2</sup>	Extrac- ción de clavos Kg.
Ciprés	0.51	160	0.75x10 <sup>5</sup>	70	23	160	7	7	8	225	19
Pino	0.51	120	0.80x10 <sup>5</sup>	70	30	190	8	10	15	230	
Pino del Petén	0.52	125	1.00x10 <sup>5</sup>	85	15	200	6	15	7	110	10
Caoba	0.48	160	0.76x10 <sup>5</sup>	70	45	125	7	10	16	265	30
Canoj	0.65	130	1.00x10 <sup>5</sup>	70	20	100	10	10	19	200	
Cedro	0.43	95	0.46x10 <sup>5</sup>	40	35	80	10	7	16	180	19
Cenícero	0.61	130	0.72x10 <sup>5</sup>	65	45	100	10	10	11	350	30
Conacaste	0.42	95	0.56x10 <sup>5</sup>	35	20	90	10	7	9	195	9
Chichique	0.72	245	1.38x10 <sup>5</sup>	120	60	235	7	9	12	450	
Chichipate	0.72	210	1.20x10 <sup>5</sup>	105	55	160	10	15	25	730	55
arío	0.62	100	0.85x10 <sup>5</sup>	60	45	145	16	12	20	360	40
Volador	0.65	165	1.95x10 <sup>5</sup>	75	35	155	10	11	24	430	50

OBSERVACIONES

Solo se permiten incrementos sobre estos esfuerzos para madera seca al aire en caso que las piezas sean de grosor de 10 Cms.

Columna 6: Se sugiere tomar para tensión paralela los valores de flexión (columna 2).

Para obtener esfuerzos permisibles de trabajo, deben corregirse los datos de este cuadro (Ver cuadro A, B, C).

Fuente: Determinación de los Esfuerzos Permisibles de Trabajo para Maderas Nacionales (Centro de Investigaciones de Ingeniería)

ESFUERZOS PERMISIBLES DE TRABAJO PARA MADERA GRADO "A" APLICABLES A  
MADERAS VERDES O POCO SAZONADAS Y MADERAS SECADAS AL AIRE

TABLA No. 5

ESPECIE	Peso seco aparente Gr/Cm <sup>3</sup>	Flexión estática Kg/Cm <sup>2</sup>	Módulo de elas- ticidad Kg/Cm <sup>2</sup>	Compresión paralela Kg/Cm <sup>2</sup>	Compresión perpendicu- lar Kg/Cm <sup>2</sup>	Tensión paralela Kg/Cm <sup>2</sup>	Tensión perpendicu- lar Kg/Cm <sup>2</sup>	Corte para- lelo Kg/Cm <sup>2</sup>	Clivaje Kg/Cm <sup>2</sup>	Dureza Kg/Cm <sup>2</sup>	Extrac- ción de clavos Kg.
Cáprís	0.51	136	0.75x10 <sup>5</sup>	60	23	136	6	6	6.8	225	19
Pino	0.50	102	0.80x10 <sup>5</sup>	60	30	162	6.8	8.5	12.8	230	
Caoba	0.48	136	0.76x10 <sup>5</sup>	60	45	106	6	8.5	13.6	265	30
Canoj	0.65	110	1.00x10 <sup>5</sup>	60	20	85	8.5	8.5	16.2	200	
Cedro	0.43	81	0.46x10 <sup>5</sup>	34	35	68	8.5	6	13.6	180	19
Cenícero	0.61	110	0.72x10 <sup>5</sup>	55	45	85	8.5	8.5	9.4	350	30
Conacañete	0.42	81	0.56x10 <sup>5</sup>	30	20	77	8.5	6	7.7	195	9
Chichique	0.72	206	1.36x10 <sup>5</sup>	102	60	200	6.0	7.7	10.2	450	
Chichipate	0.72	178	1.20x10 <sup>5</sup>	89	55	136	8.5	12.8	21.3	730	55
arío	0.62	85	0.85x10 <sup>5</sup>	51	45	124	6.8	10.2	17.0	360	40
Volador	0.63	140	1.05x10 <sup>5</sup>	64	35	132	8.5	9.4	20.4	430	50

Fuente: Determinación de los Esfuerzos Permisibles de Trabajo para Maderas Nacionales. (Centro de Investigaciones de Ingeniería)

ESFUERZOS PERMISIBLES DE TRABAJO PARA MADERA GRADO "B" APLICABLES A MADERAS VERDES O POCO SAZONADAS Y MADERAS SECADAS AL AIRE

TABLA No. 6

ESPECIE	Peso seco aparente Gr/Cm3	Flexión estática Kg/Cm2	Módulo de elasticidad Kg/Cm2	Compresión paralela Kg/Cm2	Compresión perpendicular Kg/Cm2	Tensión paralela Kg/Cm2	Tensión perpendicular Kg/Cm2	Corte paralelo Kg/Cm2	Clivaje Kg/Cm2	Dureza Kg/Cm2	Extracción de clavos Kg.
Ciprés	0.51	112	$0.75 \times 10^5$	49	23	112	5.0	5.0	5.6	223	19
Pino	0.50	84	$0.80 \times 10^5$	49	30	133	5.6	7.0	10.5	230	
Caoba	0.48	112	$0.76 \times 10^5$	49	45	87.5	4.9	7.0	11.2	265	30
Canoj	0.65	91	$1.00 \times 10^5$	49	20	70	7.0	7.0	13.3	200	
Cedro	0.43	67	$0.46 \times 10^5$	28	35	56	7.0	5.0	11.2	180	19
Cenicero	0.61	91	$0.72 \times 10^5$	45.5	45	70	7.0	7.0	7.7	350	30
Concasto	0.42	67	$0.56 \times 10^5$	24.5	20	63	7.0	5.0	6.3	195	9
Chichique	0.72	172	$1.38 \times 10^5$	84	60	164	5.0	6.3	8.4	450	
Chichipate	0.72	147	$1.20 \times 10^5$	74	55	112	7.0	10.5	17.5	730	55
arío	0.62	70	$0.85 \times 10^5$	42	45	101	5.6	8.4	14.0	360	40
Volador	0.65	115	$1.05 \times 10^5$	52.5	35	108	7.0	7.7	16.8	430	50

Fuente: Determinación de los Esfuerzos Permisibles de Trabajo para Maderas Nacionales. (Centro de Investigaciones de Ingeniería)

ESFUERZOS PERMISIBLES DE TRABAJO PARA MADERA GRADO "C" APLICABLES  
A MADERAS VERDES O POCO SAZONADAS Y MADERAS SECADAS AL AIRE

TABLA No. 7

ESPECIE	Peso seco aparente Gr/Cm <sup>3</sup>	Flexión estática Kg/Cm <sup>2</sup>	Módulo de elas- ticidad Kg/Cm <sup>2</sup>	Compresión paralela Kg/Cm <sup>2</sup>	Compresión perpendicu- lar Kg/Cm <sup>2</sup>	Tensión paralela Kg/Cm <sup>2</sup>	Tensión perpendicu- lar Kg/Cm <sup>2</sup>	Corte para- lelo Kg/Cm <sup>2</sup>	Clivaje Kg/Cm <sup>2</sup>	Dureza Kg/Cm <sup>2</sup>	Extrac- ción de clavos Kg.
Ciprés	0.51	80	0.75x10 <sup>5</sup>	35	23	80	3.5	3.5	4	225	19
Pino	0.50	60	0.80x10 <sup>5</sup>	35	30	95	4.0	5	7.5	230	
Caoba	0.48	80	0.76x10 <sup>5</sup>	35	45	63	3.5	5	8	265	30
Canoj	0.65	65	1.00x10 <sup>5</sup>	35	20	50	5	5	9.5	200	
Cedro	0.43	48	0.46x10 <sup>5</sup>	20	35	40	5	3.5	8	180	19
Cenícero	0.61	65	0.72x10 <sup>5</sup>	33	45	50	5	5	5.5	350	30
Conacas.	0.42	48	0.56x10 <sup>5</sup>	18	20	45	5	3.5	4.5	195	9
Chichique	0.72	123	1.38x10 <sup>5</sup>	60	60	118	3.5	3.5	6	450	
Chichipa.	0.72	105	1.20x10 <sup>5</sup>	53	55	80	5	7.5	12.5	730	55
ario	0.62	50	0.85x10 <sup>5</sup>	30	45	73	4	6	10	360	40
Volador	0.65	83	1.05x10 <sup>5</sup>	38	35	78	5	5.5	12	430	50

Fuente: Determinación de los Esfuerzos Permisibles de Trabajo para Maderas Nacionales. (Centro de Investigaciones de Ingeniería)

Donde:  $R_v$  = Reacción en el apoyo basado en luz efectiva (lbs)  
 $F_v$  = Esfuerzo de corte horizontal, modificado por duración de carga (lbs/pul<sup>2</sup>)  
 $b$  = Ancho de la viga, asumido (pul).

2. Determine el peralte en la cumbrera (dc), este peralte es determinado utilizando el obtenido en el paso No. 1 y el conocimiento de los valores arquitectónicos del espaciamiento a la cara piramidal.

3. Chequeo de la deflexión máxima

a) La deflexión por tensión  $\Delta_B$ , para vigas piramidales con carga uniformemente distribuida, puede determinarse usando la gráfica No. 2. Para leer la gráfica se hace necesario obtener el coeficiente  $C_y$  el cual está determinado por la fórmula

$$C_y = \frac{dc - de}{de}$$

y leyendo en la ordenada el valor y luego resolver para obtener  $\Delta_B$ , esta deflexión máxima ocurre en la línea de centro en vigas piramidales dobles simétricas.

b) Chequeo de la deflexión por corte  $\Delta_s$  en la línea del centro de vigas simétricas de doble pirámide, bajo carga uniformemente distribuida puede ser calculada con muy poco error con la fórmula sig.

$$\Delta_s = \frac{3 W l}{20 G b de}$$

Donde:  $W$  = Carga total sobre la viga (lbs)  
 $l$  = Longitud de la viga (pul)  
 $G$  = Módulo de corte =  $0.06 E$  (lbs/pul<sup>2</sup>)  
 $b$  = Ancho de la viga, asumido (pul)  
 $de$  = Peralte en el apoyo de la viga (pul)

El total de  $\Delta_B + \Delta_s$  no debe exceder la carga límite de deflexión  $\Delta_{TL}$ .

4. Dibuje la viga a escala, usando las dimensiones determinadas en los pasos 1 y 2 y los valores arquitectónicos estructurales.

5. Revisión de los esfuerzos actuantes, para una viga bajo carga uniformemente distribuida, el esfuerzo máximo de flexión, corte y compresión perpendicular a la fibra, ocurre en la sección donde el peralte "d" es dado por la fórmula sig.

$$d = \frac{de}{dc} (2 dc - de)$$

En esta sección los esfuerzos son máximos en el trapecio de corte y están dados por las siguientes fórmulas:

$$f_x = \frac{3 W l}{4 b d e (2 d c - d e)}$$

$$f_{xy} = f_x \operatorname{tg} \theta \text{ (Esfuerzo de corte)}$$

$$f_y = f_x \operatorname{tg}^2 \theta \text{ (Compresión perpendicular a la fibra)}$$

Donde:  $\operatorname{tg} \theta$  = Pendiente en la cara piramidal, ninguno de los valores de los esfuerzos puede exceder el correspondiente es fuerzo disponible

$$f_x < F_b, f_{xy} < F_v, f_y < F_{c \perp}$$

Donde:  $F_b$  = Esfuerzo disponible por tensión (lbs/pul<sup>2</sup>) modificado por factor tamaño.

$F_v$  = Esfuerzo de corte horizontal (lbs/pul<sup>2</sup>)

$F_{c \perp}$  = Esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra (lbs/pul<sup>2</sup>).

6. Chequear los efectos de la combinación de esfuerzos ocurridos simultáneamente, por la fórmula

$$\frac{f_x^2}{F_x^2} + \frac{f_y^2}{F_y^2} + \frac{f_{xy}^2}{F_{xy}^2} \leq 1$$

Donde:  $F_x$  = Esfuerzo disponible por tensión =  $F_b$  (lbs/pul<sup>2</sup>)

$F_y$  =  $F_{c \perp}$  (lbs/pul<sup>2</sup>)

$F_{xy}$  =  $F_v$  (lbs/pul<sup>2</sup>)

7. Determine la flecha admisible que se produce, la flecha admisible en la línea central debe coincidir con las recomendaciones dadas en la tabla No. 8, si la flecha en  $K$  excede de 2 pulgadas.

Vigas de Techo	}	}	1 1/2 Veces la Deflexión por Carga Muerta
Vigas de Piso			
Vigas de Puentes	}	}	2 Veces la Deflexión por Carga Muerta
Luces Largas			
Luces Cortas			2 Veces la Deflexión por Carga Muerta mas 1/2 Deflexión por Carga Aplicada.

TABLA No. 8 Recomendaciones Mínimas de Deflexión  
Fuente: Timber Construction Manual, pag. No. 4-165

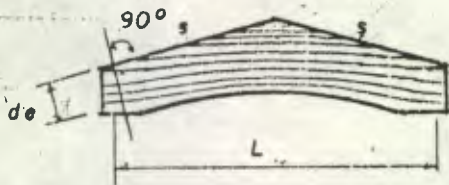




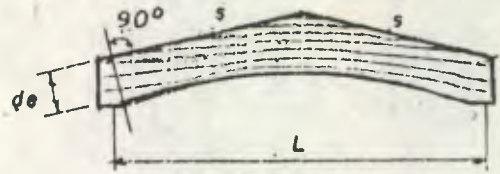
VIGA PIRAMIDAL RECTA



VIGA PIRAMIDAL RECTA DOBLE-



VIGA PIRAMIDAL AHUSADA



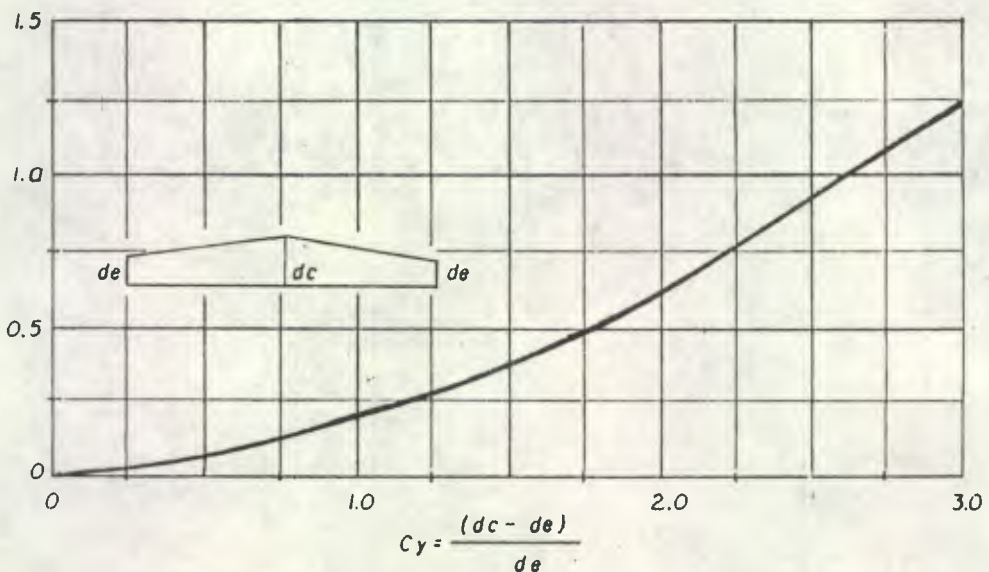
VIGA PIRAMIDAL CURVA

FIGURA No. 21

Vigas Piramidales de Madera Laminada

$$\frac{32 \Delta B b (dc-de)^3 El}{5 W l^3}$$

W = Carga Total, Uniformemente Distribuida (lb)  
 $\Delta B$  = Deflexión Máxima (pul)  
 El = Módulo de Elasticidad (1.10 x E) (lb/pul<sup>2</sup>)  
 b = Ancho Asumida (pul)



GRAFICA No 2 Deflexión Máxima

Fuente: Timber Construction Manual, pag. 4-29

### 5.2.2 EJEMPLO

Diseñe una viga de Madera Laminada pegada, doble piramidal, utilizando datos de maderas nacionales.

Datos del Problema:

-Especie: Ciprés

-Longitud: 40 pies

-Espacio entre vigas: 10 pies

-Pendiente del techo: 1:12

-Contraflecha:  $1 \frac{1}{2} \Delta$  DL

-Carga Viva: 25 lbs/pie<sup>2</sup>

-Carga Muerta: 15 lbs/pie<sup>2</sup>

-Esfuerzo de Tensión Paralelo:  $F_b = 1929$  lbs/pul<sup>2</sup>

-Esfuerzo de Corte Paralelo:  $F_v = 85$  lbs/pul<sup>2</sup>

-Esfuerzo de Compresión  $\perp$ :  $F_c \perp = 326$  lbs/pul<sup>2</sup>

-Módulo de Elasticidad:  $E = 1,064,250$  lbs/pul<sup>2</sup>

-Módulo de Corte:  $G = 0.06 E = 63,855$  lbs/pul<sup>2</sup>

-Flecha Admisible:  $\Delta_{TL} = \frac{1}{180} = \frac{40 \times 12}{180} = 2.67$  pul.

Desarrollo:

1. Determine el peralte mínimo en el extremo de apoyo, asumir la luz efectiva  $L_e = 36'$ .

Asumir un ancho  $b = 5 \frac{1}{8}"$

Determine las reacciones  $R_v$

$$R_v = \frac{W L_e}{2} = \frac{(25+15) \text{ lbs/pie}^2 (10 \text{ pie}) (36 \text{ pie})}{2} = 7,200 \text{ lbs}$$

$$\text{Peralte mínimo: de } = \frac{3 R_v}{2b F_v} = \frac{3 \times 7200 \text{ lbs}}{2 \times 5.125 \text{ pul} \times 85 \text{ lb/pul}^2}$$

$$\text{de} = 24.79 \approx 25 \text{ pul.}$$

Chequeo de luz efectiva  $L_e$

$$L_e = L - \frac{2 \text{ de}}{12} = 40 \text{ pie} - \frac{2 \times 25 \text{ pul}}{12 \text{ pul/pie}} = 36 \text{ pies (correcto)}$$

2. Determine el peralte en la cumbrera =  $d_c$

$d_c = d_e + (\text{pend. del techo}) (1/2 \text{ luz total})$  en pul

$$d_c = 25 \text{ pul} + 1/12 (20 \text{ pies}) (12) = 45 \text{ pul.}$$

3. Revisar la deflexión máxima

a) Delexión por tensión (pandeo)

$$\text{Coeficiente: } C_y = \frac{d_c - d_e}{d_e} = \frac{45 - 25}{25} = 0.80$$

Entrando en la gráfica No. 2 con  $Cy = 0.80$  el valor en la ordenada se lee = 0.13

$$\Rightarrow 0.13 = \frac{32 \Delta_B b (dc - de)^3 EI}{5 W l^3}$$

$$\therefore \Delta_B = \frac{0.13 \times 5 W l^3}{32 b (dc - de)^3 EI}$$

$$EI = 1.10 \times E = 1.10 \times 1,064,250 = 1,170,675$$

$$\Delta_B = \frac{0.13 \times 5 [(25+15) 10 \times 40] (40 \times 12)^3}{32 \times 5.125 \times 8000 \times 1,170,675} =$$

$$\Rightarrow \Delta_B = \frac{0.13 \times 5 \times 400 \times 40^4 \times 1728}{32 \times 5.125 \times 8000 \times 1,170,675} = 0.75''$$

b) Deflexión por Corte  $\Delta_s$

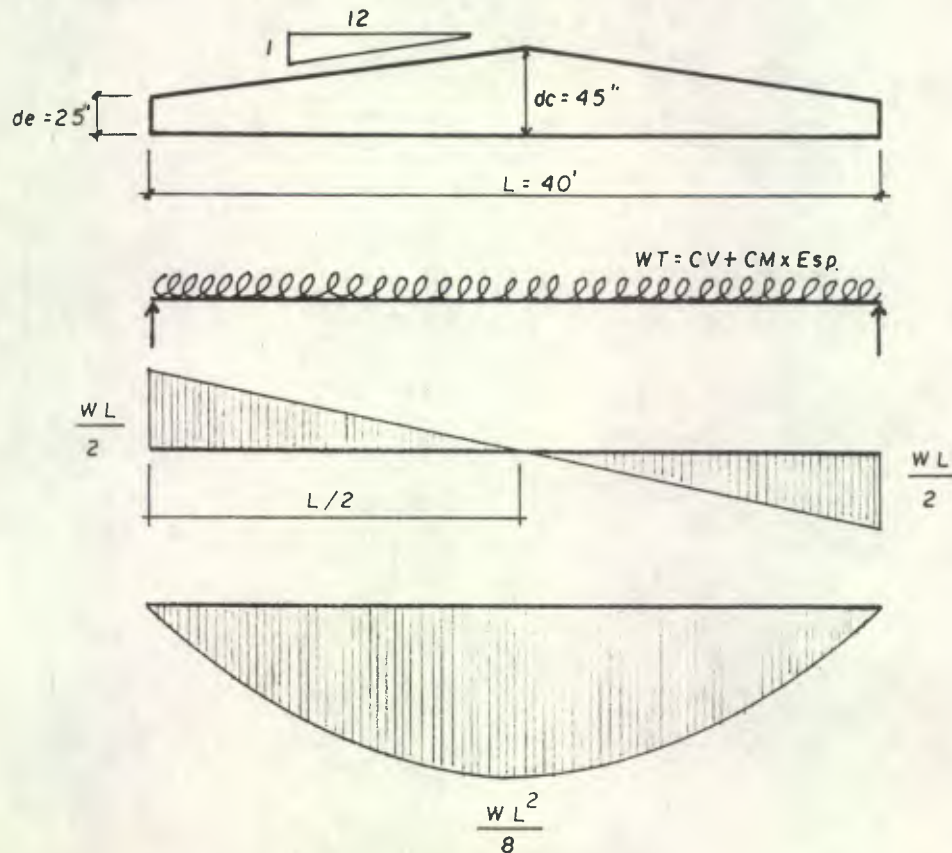
$$\Delta_s = \frac{3 W l}{20 G b de}$$

$$\Delta_s = \frac{3 \times 400 \times 40^2 \times 12}{20 \times 63,855 \times 5.125 \times 25} = 0.14''$$

Chequeando la deflexión total =  $\Delta_a$

$$\Delta_a = \Delta_B + \Delta_s = 0.75 + 0.14 = 0.89 < 2.67 \text{ (correcto)}$$

4. Dibujar a escala la viga dimensionada



5. Revisión de esfuerzos actuantes

$$d = \frac{d_e}{d_c} (2 d_c - d_e)$$

$$\Rightarrow d = \frac{25}{45} (2 \times 45 - 25) = 36''$$

Esfuerzo disponible por tensión

$$F_b' = 1,929 \text{ CF}$$

Donde CF = Factor Tamaño, de tabla No. 2 CF para 36" = 0.88

$$\Rightarrow F_b' = 1929 \times 0.88 = 1,697 \text{ lbs/pul}^2 \approx 1,698$$

Esfuerzo actuante por tensión

$$f_x = \frac{9 W l^2}{b d_e (2 d_c - d_e)} = \frac{9 \times (40 \times 10) 40^2}{5.125 \times 25 (2 \times 45 - 25)} = 692 \text{ lb/pul}^2$$

$$692 \text{ lbs/pul}^2 < 1,929 \text{ lbs/pul}^2 \text{ (correcto)}$$

Esfuerzo actuante por corte  $f_{xy} = f_x \text{ tg } \theta$

$$f_{xy} = 692 \times \frac{1}{12} = 58 \text{ lbs/pul}^2 < 85 \text{ lbs/pul}^2 \text{ (correcto)}$$

Esfuerzo actuante de compresión perpendicular a la fibra

$$f_y = f_x \text{ tg}^2 \theta$$

$$f_y = 692 \left( \frac{1}{12} \right)^2 = 4.81 \text{ lbs/pul}^2 < F_{c \perp} = 326 \text{ lb/pul}^2 \text{ (correcto)}$$

6. Chequeo del efecto de los esfuerzos combinados en el punto de máximos esfuerzos.

$$\frac{f_x^2}{F_x^2} + \frac{f_y^2}{F_y^2} + \frac{f_{xy}^2}{F_{xy}^2} \leq 1$$

(F<sub>b</sub>)      (F<sub>c⊥</sub>)      (F<sub>v</sub>)

$$\frac{692^2}{1929^2} + \frac{4.81^2}{326^2} + \frac{58^2}{85^2} = 0.59 < 1 \text{ (correcto)}$$

Determinación de la flecha

$$\text{Deflexión por carga muerta } \Delta_{DL} = \Delta_a \frac{W_{DL}}{W_{TL}}$$

$$\Delta_{DL} = \Delta_a \frac{CM \times \text{Esp. Vigas}}{CT \times \text{Esp. Vigas}} \leq 2$$

$$\Delta_{DL} = 0.89 \frac{15 \times 10}{40 \times 10} = 0.33 < 2 \text{ (correcto)}$$

(1) El método de diseño de vigas laminadas fue tomado de Timber Construction Manual pag. 4-28, 4-29, 4-30, 4-31 4-32, 4-33, 4-34.

Los arcos de madera Laminada Pegada son frecuentemente utilizados en iglesias, angares, gimnasios y otros edificios en los cuales se hace necesario cubrir luces grandes. Los tipos más comunes de éstos son:

- Arco Tudor
- Arco Gótico
- Arco Radial
- Arco Parabólico (ver fig. No. 22)

Por lo general los arcos Tudor y Gótico son de tres articulaciones, los arcos Radial y Parabólico se emplean con dos articulaciones, pero frecuentemente se les usa triarticulados. Usualmente los arcos de madera laminada cubren luces de 30' a 250' y los espaciamentos entre ellos son de 15' a 30'.

#### 5.3.1 PROCEDIMIENTO PRELIMINAR DE DISEÑO DE ARCO TUDOR TRIARTICULADO

El procedimiento de dimensionamiento de un arco Tudor triarticulado, es relativamente sencillo por lo general solamente se necesita investigar de 4 a 6 secciones, después de asumir el ancho y que se ha determinado el radio de curvatura. Las cargas de gravedad usualmente son muy importantes para techos inclinados bajo 40°.

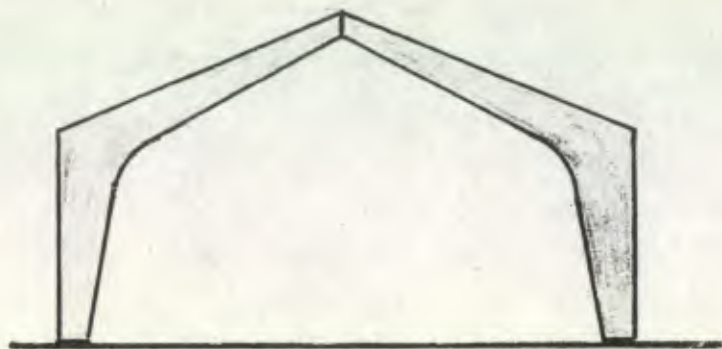
Las combinaciones de carga de viento y gravedad tienden a ser críticas para grandes pendientes.

El procedimiento de análisis que se describe para el dimensionamiento de arcos Tudor es adecuado para condiciones uniformes de carga. Para inclinaciones de techo de 10/12 el efecto del viento debe de ser investigado, así pues se hace énfasis en que este procedimiento es factible solamente para propósitos preliminares de diseño.

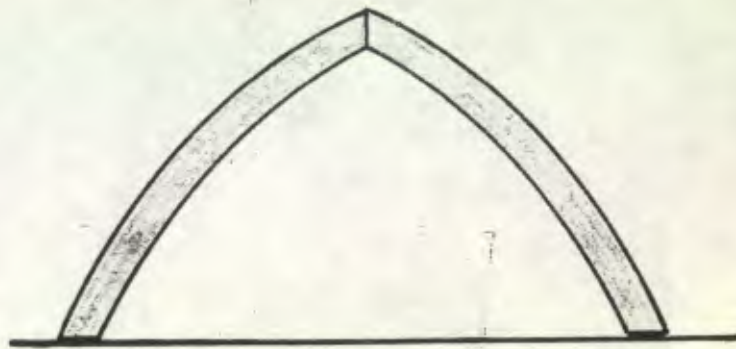
1. Esquematice a escala conveniente el arco con los datos del problema.

2. Calcular la reacción horizontal con la fórmula sig.

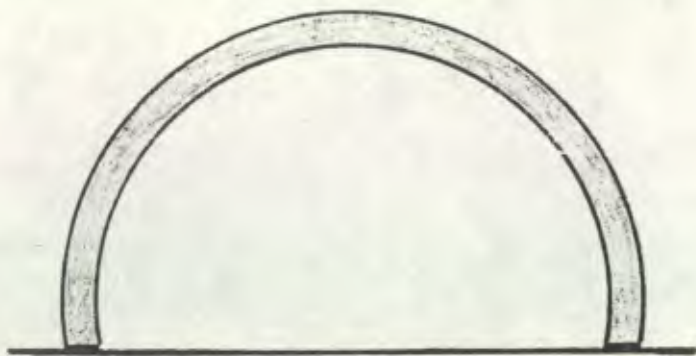
$$\frac{Wt \times \text{Espaciamento} \times L^2}{8 h}$$



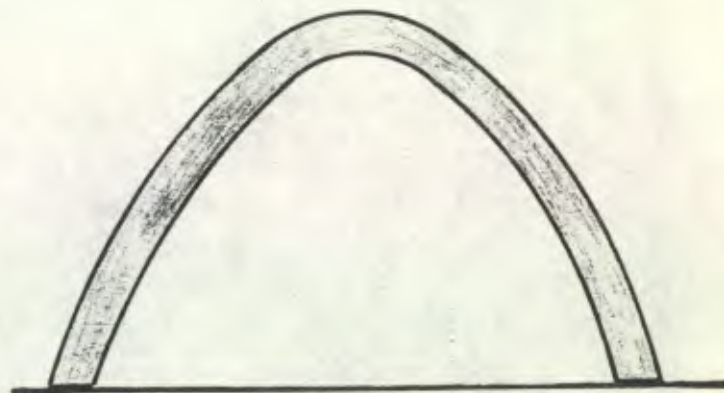
ARCO TUDOR



ARCO GOTICO



ARCO RADIAL



ARCO PARABOLICO

FIG. No. 22

ARCOS DE MADERA LAMINADA

Número de Laminaciones		Profundidad (pul)	Factor Tamaño Cf	Área (pul <sup>2</sup> )	Módulo de Sec. (pul <sup>3</sup> )	Momento de Inercia (pul <sup>4</sup> )	Volumen por pie L (pie <sup>3</sup> )
1/2"	3/4"						
		d		A	S	I	Vol.
<b>2 1/4" Ancho</b>							
	4	3.00	1.00	6.0	7.4	5.1	0.05
	5	3.75	1.00	7.4	10.3	7.0	0.06
	6	4.50	1.00	9.0	13.5	9.1	0.07
	7	5.25	1.00	10.7	17.1	11.1	0.08
	8	6.00	1.00	12.5	21.0	13.5	0.09
	9	6.75	1.00	14.2	25.3	16.4	0.11
	10	7.50	1.00	16.0	30.0	19.7	0.12
	11	8.25	1.00	17.8	35.0	23.4	0.13
	12	9.00	1.00	19.6	40.2	27.4	0.14
	13	9.75	1.00	21.4	45.6	31.7	0.15
	14	10.50	1.00	23.2	51.3	36.3	0.16
	15	11.25	1.00	25.0	57.2	41.3	0.18
	16	12.00	1.00	26.8	63.4	46.5	0.19
	17	12.75	0.99	28.6	69.9	51.9	0.20
	18	13.50	0.99	30.4	76.6	57.5	0.21
	19	14.25	0.98	32.1	83.4	63.3	0.22
	20	15.00	0.98	33.8	90.4	69.3	0.23
<b>3 1/8" Ancho</b>							
	4	3.00	1.00	6.0	7.4	5.1	0.05
	5	3.75	1.00	7.4	10.3	7.0	0.06
	6	4.50	1.00	9.0	13.5	9.1	0.07
	7	5.25	1.00	10.7	17.1	11.1	0.08
	8	6.00	1.00	12.5	21.0	13.5	0.09
	9	6.75	1.00	14.2	25.3	16.4	0.11
	10	7.50	1.00	16.0	30.0	19.7	0.12
	11	8.25	1.00	17.8	35.0	23.4	0.13
	12	9.00	1.00	19.6	40.2	27.4	0.14
	13	9.75	1.00	21.4	45.6	31.7	0.15
	14	10.50	1.00	23.2	51.3	36.3	0.16
	15	11.25	1.00	25.0	57.2	41.3	0.18
	16	12.00	1.00	26.8	63.4	46.5	0.19
	17	12.75	0.99	28.6	69.9	51.9	0.20
	18	13.50	0.99	30.4	76.6	57.5	0.21
	19	14.25	0.98	32.1	83.4	63.3	0.22
	20	15.00	0.98	33.8	90.4	69.3	0.23
	21	15.75	0.97	35.5	97.6	75.5	0.24
	22	16.50	0.97	37.2	105.0	81.9	0.25
	23	17.25	0.96	38.9	112.6	88.5	0.26
	24	18.00	0.96	40.6	120.4	95.3	0.27
	25	18.75	0.95	42.3	128.4	102.3	0.28
	26	19.50	0.95	44.0	136.6	109.5	0.29
	27	20.25	0.94	45.7	145.0	116.9	0.30
	28	21.00	0.94	47.4	153.6	124.4	0.31
	29	21.75	0.94	49.1	162.4	132.1	0.32
	30	22.50	0.93	50.8	171.4	140.0	0.33
	31	23.25	0.93	52.5	180.6	148.1	0.34
	32	24.00	0.93	54.2	190.0	156.4	0.35
<b>3 1/2" Ancho</b>							
	4	3.00	1.00	6.0	7.4	5.1	0.05
	5	3.75	1.00	7.4	10.3	7.0	0.06
	6	4.50	1.00	9.0	13.5	9.1	0.07
	7	5.25	1.00	10.7	17.1	11.1	0.08
	8	6.00	1.00	12.5	21.0	13.5	0.09
	9	6.75	1.00	14.2	25.3	16.4	0.11
	10	7.50	1.00	16.0	30.0	19.7	0.12
	11	8.25	1.00	17.8	35.0	23.4	0.13
	12	9.00	1.00	19.6	40.2	27.4	0.14
	13	9.75	1.00	21.4	45.6	31.7	0.15
	14	10.50	1.00	23.2	51.3	36.3	0.16
	15	11.25	1.00	25.0	57.2	41.3	0.18
	16	12.00	1.00	26.8	63.4	46.5	0.19
	17	12.75	0.99	28.6	69.9	51.9	0.20
	18	13.50	0.99	30.4	76.6	57.5	0.21
	19	14.25	0.98	32.1	83.4	63.3	0.22
	20	15.00	0.98	33.8	90.4	69.3	0.23
	21	15.75	0.97	35.5	97.6	75.5	0.24
	22	16.50	0.97	37.2	105.0	81.9	0.25
	23	17.25	0.96	38.9	112.6	88.5	0.26
	24	18.00	0.96	40.6	120.4	95.3	0.27
	25	18.75	0.95	42.3	128.4	102.3	0.28
	26	19.50	0.95	44.0	136.6	109.5	0.29
	27	20.25	0.94	45.7	145.0	116.9	0.30
	28	21.00	0.94	47.4	153.6	124.4	0.31
	29	21.75	0.94	49.1	162.4	132.1	0.32
	30	22.50	0.93	50.8	171.4	140.0	0.33
	31	23.25	0.93	52.5	180.6	148.1	0.34
	32	24.00	0.93	54.2	190.0	156.4	0.35

Número de Laminaciones	Profundidad (pul)	Factor Tamaño Cf	Área (pul <sup>2</sup> )	Módulo de Sec. (pul <sup>3</sup> )	Momento de Inercia (pul <sup>4</sup> )	Volumen por pie L (pie <sup>3</sup> )		
							1/2"	3/4"
		d		A	S	I	Vol.	
<b>6 3/4" Ancho</b>								
	7	14	10.50	1.00	53.0	94.2	194.4	0.37
	8	15	11.25	1.00	57.7	102.1	206.1	0.40
	9	16	12.00	1.00	61.5	110.0	218.0	0.43
	10	17	12.75	0.99	65.3	117.9	230.2	0.45
	11	18	13.50	0.99	69.2	125.7	242.8	0.48
	12	19	14.25	0.98	73.0	133.4	255.9	0.51
	13	20	15.00	0.98	76.9	141.1	268.4	0.53
	14	21	15.75	0.97	80.7	148.7	281.3	0.56
	15	22	16.50	0.97	84.6	156.2	294.6	0.59
	16	23	17.25	0.96	88.4	163.7	308.2	0.61
	17	24	18.00	0.96	92.3	171.1	321.9	0.64
	18	25	18.75	0.95	96.1	178.4	335.8	0.67
	19	26	19.50	0.95	99.9	185.6	349.8	0.69
	20	27	20.25	0.94	103.8	192.7	364.0	0.72
	21	28	21.00	0.94	107.6	200.0	378.3	0.75
	22	29	21.75	0.94	111.5	207.1	392.8	0.77
	23	30	22.50	0.93	115.3	214.1	407.4	0.80
	24	31	23.25	0.93	119.2	221.1	422.1	0.83
	25	32	24.00	0.93	123.0	228.0	436.9	0.85
	26	33	24.75	0.92	126.8	234.8	451.8	0.88
	27	34	25.50	0.92	130.7	241.6	466.8	0.91
	28	35	26.25	0.92	134.5	248.3	481.9	0.93
	29	36	27.00	0.91	138.4	255.0	497.1	0.96
	30	37	27.75	0.91	142.2	261.6	512.4	0.99
	31	38	28.50	0.91	146.1	268.1	527.8	1.01
	32	39	29.25	0.91	149.9	274.6	543.3	1.04
	33	40	30.00	0.90	153.8	281.0	558.9	1.07
	34	41	30.75	0.90	157.6	287.3	574.6	1.09
	35	42	31.50	0.90	161.4	293.6	590.4	1.12
	36	43	32.25	0.90	165.3	299.8	606.3	1.15
	37	44	33.00	0.89	169.1	306.0	622.3	1.17
	38	45	33.75	0.89	173.0	312.1	638.4	1.20
	39	46	34.50	0.89	176.8	318.1	654.6	1.23
	40	47	35.25	0.89	180.7	324.1	670.9	1.25
	41	48	36.00	0.88	184.5	330.0	687.3	1.28
	42	49	36.75	0.88	188.4	335.8	703.8	1.28
	43	50	37.50	0.88	192.3	341.6	720.4	1.31
	44	51	38.25	0.87	196.1	347.3	737.1	1.35
	45	52	39.00	0.87	200.0	353.0	753.9	1.39
	46	53	39.75	0.87	203.8	358.6	770.8	1.42
	47	54	40.50	0.87	207.6	364.2	787.8	1.46
	48	55	41.25	0.86	211.4	369.7	804.9	1.49
	49	56	42.00	0.86	215.2	375.2	822.1	1.53
	50	57	42.75	0.86	219.0	380.6	839.4	1.56
	51	58	43.50	0.86	222.8	386.0	856.8	1.60
	52	59	44.25	0.85	226.6	391.3	874.3	1.63
	53	60	45.00	0.85	230.4	396.6	891.9	1.67
	54	61	45.75	0.85	234.2	401.8	909.6	1.70
	55	62	46.50	0.85	238.0	407.0	927.4	1.74
	56	63	47.25	0.84	241.8	412.1	945.3	1.77
	57	64	48.00	0.84	245.6	417.2	963.3	1.81
	58	65	48.75	0.84	249.4	422.2	981.4	1.84
	59	66	49.50	0.84	253.2	427.1	1000.0	1.88
	60	67	50.25	0.84	257.0	432.0	1018.7	1.91
	61	68	51.00	0.83	260.8	436.8	1037.6	1.95
	62	69	51.75	0.83	264.6	441.6	1056.7	1.98

Tabla No.10

1/2"	%	d	Gf	A	B	I	V6/
15	29	21.75	0.94	146.8	532.2	5787.6	1.02
	30	22.50	0.93	151.9	569.5	6407.2	1.05
	31	23.25	0.93	156.9	608.1	7069.5	1.09
16	32	24.00	0.93	162.0	648.0	7776.0	1.12
	33	24.75	0.92	167.1	689.1	8528.0	1.16
17	34	25.50	0.92	172.1	731.5	9327.0	1.20
	35	26.25	0.92	177.2	775.2	10174.4	1.23
18	36	27.00	0.91	182.3	820.1	11071.7	1.27
	37	27.75	0.91	187.3	866.3	12020.2	1.30
19	38	28.50	0.91	192.4	913.8	13021.4	1.34
	39	29.25	0.91	197.4	962.5	14076.7	1.37
20	40	30.00	0.90	202.5	1012.5	15187.5	1.41
	41	30.75	0.90	207.6	1063.8	16355.3	1.44
21	42	31.50	0.90	212.6	1116.3	17581.4	1.48
	43	32.25	0.90	217.7	1170.1	18867.4	1.51
22	44	33.00	0.89	222.8	1225.1	20214.6	1.55
	45	33.75	0.89	227.8	1281.4	21624.4	1.58
23	46	34.50	0.89	232.9	1339.0	23098.3	1.62
	47	35.25	0.89	237.9	1397.9	24637.7	1.65
24	48	36.00	0.88	243.0	1458.0	26244.0	1.69
	49	36.75	0.88	248.1	1519.4	27918.4	1.72
25	50	37.50	0.88	253.1	1582.0	29663.1	1.76
	51	38.25	0.88	258.2	1645.9	31478.7	1.79
26	52	39.00	0.88	263.3	1711.1	33366.9	1.83
	53	39.75	0.88	268.3	1777.6	35329.2	1.86
27	54	40.50	0.87	273.4	1845.3	37367.0	1.90
	55	41.25	0.87	278.4	1914.3	39481.6	1.93
28	56	42.00	0.87	283.5	1984.5	41674.5	1.97
	57	42.75	0.87	288.6	2056.0	43947.2	2.00
29	58	43.50	0.87	293.6	2128.8	46301.0	2.04
	59	44.25	0.87	298.7	2202.8	48137.4	2.07
30	60	45.00	0.86	303.6	2278.1	51257.8	2.11
	61	45.75	0.86	308.8	2354.7	53863.7	2.14
31	62	46.50	0.86	313.9	2412.5	56556.4	2.18
	63	47.25	0.86	318.9	2511.6	59337.3	2.21
32	64	48.00	0.86	324.0	2592.0	62208.0	2.25
8 3/4" Ancho	6	12	9.00	1.00	78.8	118.1	0.55
	13	9.75	1.00	85.3	138.6	675.8	0.59
7	14	10.50	1.00	91.9	160.8	844.1	0.64
	15	11.25	1.00	98.4	184.6	1038.2	0.68
8	16	12.00	1.00	105.0	210.0	1260.0	0.73
	17	12.75	0.99	111.6	237.1	1511.3	0.77
9	18	13.50	0.99	118.1	265.8	1794.0	0.82
	19	14.25	0.98	124.7	296.1	2109.9	0.87
10	20	15.00	0.98	131.3	328.1	2460.9	0.91
	21	15.75	0.97	137.8	361.6	2848.8	0.96
11	22	16.50	0.97	144.4	397.0	3275.5	1.00
	23	17.25	0.96	150.9	433.9	3742.8	1.05
12	24	18.00	0.96	157.5	477.5	4252.5	1.09
	25	18.75	0.95	164.1	512.7	4806.5	1.14
13	26	19.50	0.95	170.6	554.5	5406.7	1.18
	27	20.25	0.94	177.2	598.0	6054.8	1.23
14	28	21.00	0.94	183.8	643.1	6752.8	1.28
	29	21.75	0.94	190.3	689.9	7502.5	1.32

1/2"	%	d	Gf	A	B	I	V6/
15	30	22.60	0.93	196.9	738.3	8305.7	1.37
	31	23.25	0.93	203.4	788.3	9164.2	1.41
16	32	24.00	0.93	210.0	840.0	10080.0	1.46
	33	24.75	0.92	216.6	893.3	11054.8	1.50
17	34	25.50	0.92	223.1	948.3	12050.6	1.55
	35	26.25	0.92	229.7	1004.9	13189.1	1.59
18	36	27.00	0.91	236.3	1063.1	14352.2	1.64
	37	27.75	0.91	242.8	1123.0	15581.7	1.69
19	38	28.50	0.91	249.4	1184.5	16879.6	1.73
	39	29.25	0.91	255.9	1247.7	18247.5	1.78
20	40	30.00	0.90	262.5	1312.5	19687.5	1.82
	41	30.75	0.90	269.1	1378.9	21201.3	1.87
21	42	31.50	0.90	275.6	1447.0	22790.7	1.91
	43	32.25	0.90	282.2	1516.8	24457.7	1.96
22	44	33.00	0.89	288.8	1588.1	26204.1	2.00
	45	33.75	0.89	295.3	1661.1	28031.6	2.05
23	46	34.50	0.89	301.9	1735.8	29942.2	2.10
	47	35.25	0.89	308.4	1812.1	31937.7	2.14
24	48	36.00	0.88	315.0	1890.0	34020.0	2.19
	49	36.75	0.88	321.6	1969.6	36190.9	2.23
25	50	37.50	0.88	328.1	2050.8	38452.2	2.28
	51	38.25	0.88	334.7	2133.6	40805.7	2.32
26	52	39.00	0.88	341.3	2218.1	43253.4	2.37
	53	39.75	0.88	347.8	2304.3	45797.1	2.42
27	54	40.50	0.87	353.4	2392.0	48438.6	2.46
	55	41.25	0.87	360.9	2481.4	51179.8	2.51
28	56	42.00	0.87	367.5	2572.5	54022.5	2.55
	57	42.75	0.87	374.1	2665.1	56968.6	2.60
29	58	43.50	0.87	380.6	2759.5	60019.8	2.64
	59	44.25	0.87	387.2	2855.5	63178.3	2.69
30	60	45.00	0.86	393.8	2953.1	66445.3	2.73
	61	45.75	0.86	400.3	3052.4	69823.3	2.78
31	62	46.50	0.86	406.9	3153.3	73313.8	2.83
	63	47.25	0.86	413.4	3255.8	76918.8	2.87
32	64	48.00	0.86	420.0	3360.0	80640.0	2.92
	65	48.75	0.86	426.6	3465.8	84479.4	2.96
33	66	49.50	0.85	433.1	3573.3	88438.7	3.01
	67	50.25	0.85	439.7	3682.4	92514.9	3.05
34	68	51.00	0.85	446.3	3793.1	96729.7	3.10
	69	51.75	0.85	452.8	3905.5	101055.0	3.14
35	70	52.50	0.85	459.4	4019.5	105512.7	3.19
	71	53.25	0.85	465.9	4135.2	110099.6	3.24
36	72	54.00	0.85	472.5	4252.5	114817.5	3.28
	73	54.75	0.85	479.1	4371.4	119678.3	3.33
37	74	55.50	0.84	485.6	4492.0	124653.9	3.37
	75	56.25	0.84	492.2	4614.3	129770.0	3.42
38	76	57.00	0.84	498.8	4738.1	135036.6	3.46
	77	57.75	0.84	506.3	4863.6	140437.4	3.51
39	78	58.50	0.84	511.9	4990.8	145980.4	3.55
	79	59.25	0.84	518.4	5116.6	151667.3	3.60
40	80	60.00	0.84	525.0	5250.0	157500.0	3.65
	81	60.75	0.84	531.6	5382.1	163480.4	3.69
41	82	61.50	0.83	538.1	5515.8	169610.3	3.74
	83	62.25	0.83	546.7	5651.1	175891.5	3.78
42	84	63.00	0.83	551.3	5788.1	182326.0	3.83

Tabla No.10



$1\frac{1}{2}''$	$\frac{3}{8}''$	d	C <sub>f</sub>	A	S	I	Vol.	
10 1/2 Ancho	7	14	10.50	1.00	112.9	197.5	1037.0	0.78
	8	15	11.25	1.00	120.5	226.8	1275.5	0.84
	9	16	12.00	1.00	129.0	258.0	1548.0	0.90
	10	17	12.75	0.99	137.1	291.3	1856.8	0.95
	11	18	13.50	0.99	145.1	326.5	2204.1	1.01
	12	19	14.25	0.98	151.2	363.8	2592.2	1.06
	13	20	15.00	0.98	161.3	403.1	3023.4	1.12
	14	21	15.75	0.97	169.3	444.3	3500.0	1.19
	15	22	16.50	0.97	177.4	487.8	4024.2	1.23
	16	23	17.25	0.96	185.6	533.1	4598.3	1.29
	17	24	18.00	0.96	193.5	580.5	5224.5	1.34
	18	25	18.75	0.95	201.6	629.9	5905.2	1.40
	19	26	19.50	0.95	209.4	681.3	6642.5	1.46
	20	27	20.25	0.94	217.7	734.7	7438.8	1.51
	21	28	21.00	0.94	225.8	790.1	8296.3	1.57
	22	29	21.75	0.94	233.8	847.6	9217.3	1.62
	23	30	22.50	0.93	241.9	907.0	10204.1	1.68
	24	31	23.25	0.93	249.9	968.5	11258.9	1.74
	25	32	24.00	0.93	258.0	1032.0	12384.0	1.79
	26	33	24.75	0.92	266.1	1097.5	13581.7	1.85
	27	34	25.50	0.92	274.1	1163.0	14854.1	1.90
	28	35	26.25	0.92	282.2	1234.6	16203.7	1.96
	29	36	27.00	0.91	290.3	1306.1	17612.7	2.02
	30	37	27.75	0.91	298.3	1329.7	19143.1	2.07
	31	38	28.50	0.91	306.4	1455.3	20737.8	2.13
	32	39	29.25	0.91	314.4	1532.9	22418.4	2.18
	33	40	30.00	0.90	322.5	1612.5	24187.5	2.24
	34	41	30.75	0.90	330.6	1694.1	26047.3	2.30
	35	42	31.50	0.90	338.6	1767.8	28000.1	2.35
	36	43	32.25	0.90	346.7	1863.4	30048.1	2.41
	37	44	33.00	0.89	354.8	1951.1	32193.6	2.46
	38	45	33.75	0.89	362.8	2040.8	34438.8	2.52
	39	46	34.50	0.89	370.9	2132.5	36786.2	2.58
	40	47	35.25	0.89	378.9	2226.3	39237.8	2.63
	41	48	36.00	0.88	387.0	2322.0	41796.0	2.69
	42	49	36.75	0.88	395.1	2419.8	44463.1	2.74
	43	50	37.50	0.88	403.1	2519.5	47241.2	2.80
	44	51	38.25	0.88	411.2	2621.3	50132.5	2.86
	45	52	39.00	0.88	419.3	2725.1	53139.3	2.91
	46	53	39.75	0.88	427.3	2830.9	56265.0	2.97
	47	54	40.50	0.87	435.4	2938.8	59510.3	3.02
	48	55	41.25	0.87	443.4	3048.6	62878.1	3.08
	49	56	42.00	0.87	451.5	3160.5	66370.5	3.14
	50	57	42.75	0.87	459.6	3274.4	69999.9	3.19
	51	58	43.50	0.87	467.6	3390.3	73768.6	3.25
	52	59	44.25	0.87	475.7	3508.2	77618.8	3.30
	53	60	45.00	0.86	483.8	3628.1	81632.8	3.16
	54	61	45.75	0.86	491.8	3750.1	85382.9	3.42
	55	62	46.50	0.86	499.9	3874.0	90071.2	3.47
	56	63	47.25	0.86	507.9	4000.0	94500.2	3.53
	57	64	48.00	0.86	516.0	4128.0	99072.0	3.58
	58	65	48.75	0.86	524.1	4258.0	103789.0	3.64
	59	66	49.50	0.85	532.1	4390.0	108653.3	3.70
	60	67	50.25	0.85	540.2	4524.1	113667.3	3.75
	61	68	51.00	0.85	548.3	4660.1	118833.2	3.81

$1\frac{1}{2}''$	$\frac{3}{8}''$	d	C <sub>f</sub>	A	S	I	Vol.	
	69	51.75	0.85	556.3	4798.2	124151.3	3.86	
	70	52.50	0.85	564.4	4938.3	129629.9	3.92	
	71	53.25	0.85	572.4	5080.4	135265.2	3.98	
	72	54.00	0.85	580.5	5224.5	141061.5	4.03	
	73	54.75	0.85	588.6	5370.6	147021.1	4.09	
	74	55.50	0.84	596.6	5518.8	153146.2	4.14	
	75	56.25	0.84	604.7	5668.9	159439.1	4.20	
	76	57.00	0.84	612.8	5821.1	165902.1	4.26	
	77	57.75	0.84	620.8	5975.3	172637.4	4.31	
	78	58.50	0.84	628.9	6131.5	179347.3	4.37	
	79	59.25	0.84	636.0	6289.8	186334.1	4.42	
	80	60.00	0.84	645.0	6450.0	193500.0	4.48	
	81	60.75	0.84	653.1	6612.3	200847.4	4.54	
	82	61.50	0.83	661.1	6776.5	208378.4	4.59	
	83	62.25	0.83	669.2	6942.8	216095.3	4.65	
	84	63.00	0.81	677.3	7111.1	224008.5	4.70	
	85	63.75	0.83	685.3	7281.4	232096.1	4.76	
	86	64.50	0.83	693.4	7453.8	240184.5	4.82	
	87	65.25	0.83	701.4	7628.1	248867.9	4.87	
	88	66.00	0.83	709.5	7804.5	257548.5	4.91	
	89	66.75	0.83	717.6	7982.9	266423.8	4.98	
	90	67.50	0.83	725.6	8163.3	275510.8	5.04	
	91	68.25	0.82	733.7	8345.7	284798.9	5.10	
	92	69.00	0.82	741.8	8530.1	294289.1	5.15	
	93	69.75	0.82	749.8	8716.6	303990.5	5.21	
	94	70.50	0.82	757.9	8905.0	311902.4	5.26	
	95	71.25	0.82	765.9	9095.5	324027.5	5.32	
	96	72.00	0.82	774.0	9288.0	336368.0	5.38	
	97	72.75	0.82	787.1	9482.5	344976.3	5.43	
	98	73.50	0.82	790.1	9679.0	355204.5	5.49	
	99	74.25	0.82	798.2	9877.6	366704.8	5.54	
	100	75.00	0.82	806.3	10078.1	377529.7	5.60	
12 1/2 Ancho	8	16	12.00	1.00	147.0	294.0	1164.0	1.02
	9	17	12.75	0.99	156.2	331.9	2115.8	1.08
	10	18	13.50	0.99	165.4	372.1	2611.6	1.15
	11	19	14.25	0.98	174.6	314.6	2953.8	1.21
	12	20	15.00	0.98	183.8	359.4	3445.3	1.28
	13	21	15.75	0.97	192.9	506.4	3988.6	1.34
	14	22	16.50	0.97	202.1	555.8	4585.7	1.40
	15	23	17.25	0.96	211.3	607.5	5239.7	1.47
	16	24	18.00	0.96	220.5	661.5	5953.5	1.53
	17	25	18.75	0.95	229.7	717.7	6728.9	1.60
	18	26	19.50	0.95	238.9	776.3	7569.4	1.66
	19	27	20.25	0.94	248.1	837.2	8476.5	1.72
	20	28	21.00	0.94	257.2	900.4	9453.9	1.79
	21	29	21.75	0.94	226.4	935.8	10503.1	1.85
	22	30	22.50	0.93	275.6	1033.6	11627.9	1.91
	23	31	23.25	0.93	284.8	1103.6	12829.5	1.97
	24	32	24.00	0.93	294.0	1176.0	14112.0	2.04
	25	33	24.75	0.92	303.2	1250.0	15476.3	2.10
	26	34	25.50	0.92	312.4	1327.6	16926.8	2.17
	27	35	26.25	0.92	321.6	1406.8	18464.1	2.23
	28	36	27.00	0.91	330.8	1488.4	20093.1	2.30
	29	37	27.75	0.91	339.9	1572.2	21813.7	2.38
	30	38	28.50	0.91	349.1	1658.3	23631.4	2.44
	31	39	29.25	0.91	358.3	1746.7	25545.7	2.49

Tabla No.10

1/2"	3/4"	d	Cf	A	B	I	Wt
20	40	30.00	0.90	367.5	1837.5	27562.5	2.55
	41	30.75	0.90	376.7	1930.5	29680.8	2.62
21	42	31.50	0.90	385.9	2025.8	31907.0	2.68
	43	32.25	0.90	395.1	2123.4	34279.7	2.74
22	44	33.00	0.89	404.2	2223.4	36685.7	2.81
	45	33.75	0.89	413.4	2325.6	38241.1	2.87
23	46	34.50	0.89	422.6	2410.1	41919.1	2.93
	47	35.25	0.89	411.8	2516.9	44712.7	3.00
24	48	36.00	0.88	441.0	2646.0	47628.0	3.06
	49	36.75	0.88	450.2	2757.4	50667.0	3.13
25	50	37.50	0.88	459.4	2871.1	51833.0	3.19
	51	38.25	0.88	468.6	2987.1	57127.8	3.25
26	52	39.00	0.88	477.8	3105.4	60554.8	3.32
	53	39.75	0.88	486.9	3226.0	64115.8	3.38
27	54	40.50	0.87	496.1	3348.8	67814.1	3.45
	55	41.25	0.87	505.3	3474.0	71651.5	3.51
28	56	42.00	0.87	514.5	3601.5	75631.5	3.57
	57	42.75	0.87	523.7	3731.3	79755.7	3.64
29	58	43.50	0.87	532.9	3863.5	84027.7	3.70
	59	44.25	0.87	542.1	3997.7	88449.1	3.76
30	60	45.00	0.86	551.2	4134.4	93021.4	3.83
	61	45.75	0.86	560.4	4273.3	97752.2	3.89
31	62	46.50	0.86	569.6	4414.6	102639.3	3.96
	63	47.25	0.86	578.8	4558.1	107685.9	4.02
32	64	48.00	0.86	588.0	4704.0	112896.0	4.08
	65	48.75	0.86	597.2	4852.1	118270.0	4.15
33	66	49.50	0.85	606.4	5002.6	123814.2	4.21
	67	50.25	0.85	615.6	5155.6	129527.4	4.27
34	68	51.00	0.85	624.8	5310.4	135414.6	4.34
	69	51.75	0.85	633.9	5467.7	141476.6	4.40
35	70	52.50	0.85	643.1	5627.3	147717.8	4.47
	71	53.25	0.85	652.3	5789.3	154138.9	4.53
36	72	54.00	0.85	661.5	5953.5	160744.5	4.59
	73	54.75	0.85	670.7	6120.0	167535.1	4.66
37	74	55.50	0.84	679.9	6288.9	174515.4	4.72
	75	56.25	0.84	689.1	6459.9	181685.8	4.79
38	76	57.00	0.84	698.2	6636.4	189051.2	4.85
	77	57.75	0.84	707.4	6809.1	196611.7	4.91
39	78	58.50	0.84	716.6	6987.1	204372.5	4.98
	79	59.25	0.84	725.8	7167.4	212333.5	5.04
40	80	60.00	0.84	735.0	7350.0	220600.0	5.10
	81	60.75	0.84	744.2	7534.9	228871.8	5.17
41	82	61.50	0.83	753.4	7722.1	237454.4	5.23
	83	62.25	0.83	762.6	7911.6	246247.3	5.30
42	84	63.00	0.83	771.8	8103.4	255256.3	5.36
	85	63.75	0.83	780.9	8297.4	264480.7	5.42
43	86	64.50	0.83	790.1	8493.8	273926.5	5.49
	87	65.25	0.83	799.3	8692.5	283592.7	5.55
44	88	66.00	0.83	808.5	8893.5	293485.5	5.61
	89	66.75	0.83	817.7	9096.7	303603.8	5.68
45	90	67.50	0.83	826.9	9302.3	313954.1	5.74
	91	68.25	0.82	836.1	9510.2	324534.9	5.81
46	92	69.00	0.82	845.2	9720.4	335352.9	5.87
	93	69.75	0.82	854.4	9932.8	346406.5	5.93
47	94	70.50	0.82	863.6	10147.6	357702.7	6.00

1/2"	3/4"	d	Cf	A	B	I	Wt
	95	71.25	0.82	872.8	10364.6	339239.4	6.06
48	96	72.00	0.82	882.0	10584.0	381024.0	6.12
	97	72.75	0.82	891.2	10805.6	393054.2	6.19
49	98	73.50	0.82	900.4	11029.6	405337.6	6.25
	99	74.25	0.82	909.6	11255.8	417871.5	6.32
50	100	75.00	0.82	918.6	11484.4	430664.1	6.38
	101	75.75	0.82	927.9	11715.2	443712.2	6.44
51	102	76.50	0.81	937.1	11949.3	457024.1	6.51
	103	77.25	0.81	946.3	12183.7	470596.7	6.57
52	104	78.00	0.81	955.3	12421.5	484418.5	6.64
	105	78.75	0.81	964.7	12661.5	498545.9	6.70
53	106	79.50	0.81	973.9	12903.8	512927.8	6.76
	107	80.25	0.81	983.1	13148.4	527580.3	6.83
54	108	81.00	0.81	992.2	13395.4	542512.7	6.89
	109	81.75	0.81	1001.4	13644.5	557720.0	6.95
55	110	82.50	0.81	1010.6	13896.1	573211.9	7.02
	111	83.25	0.81	1019.8	14149.9	588487.6	7.08
56	112	84.00	0.81	1029.0	14406.0	605052.0	7.15

TABLA No. 10

Fuente: Uso de la Madera Laminada Pegada como Material Estructural, Ventajas de su Aplicación en Guatemala, pag. 18 y 19.

Tabla No. 10

Fb: Esfuerzo de flexión modificado por el factor de curvatura.

De la sección de propiedades según tabla No.10 se selecciona la que tenga un módulo de sección igual o mayor que el calculado. Otra forma de determinar el peralte en los puntos tangentes (dr) es tomando  $\frac{4}{3}$  a  $\frac{3}{2}$  del peralte de la base.

6. Determine el peralte en la parte de la cumbrera o parte más alta del arco.

$$\text{Peralte en la cumbrera} = \frac{1}{2} dr$$

Donde: dr = Peralte en los puntos tangentes.

Otra forma de determinar el peralte en la cumbrera es tomando  $\frac{2}{3}$  del peralte de la base, el cual debe ser menor que el peralte de la sección de unión.

7. Complete los detalles del arco a escala.

NOTA: Un radio de 32' es recomendable para el anca de unión, cuando se emplean laminaciones de 1 1/2" de espesor y para laminaciones de 3/4" se recomiendan radios de 9 pies 4 pulgadas. Los factores de reducción de esfuerzos para miembros curvos son 0.964 para radios de 32' y 0.910 para radios de 9' 4".

### 5.3.2 EJEMPLO

Dimensione un arco Tudor triarticulado de Madera Lamina da Pegada, utilizando datos de maderas nacionales.

Datos del problema:

-Especie: Ciprés

-Luz: 40 pies

-Altura total: 25 pies

-Altura de columna: 20 pies

-Pendiente: 3/12

-Carga viva: 25 lbs/pie<sup>2</sup>

-Carga Muerta: 15 lbs/pie<sup>2</sup>

-Espaciamiento: 16 pies

-Esfuerzo de flexión: Fb = 1,930 lbs/pul<sup>2</sup>

-Esfuerzo de corte: Fv = 85 lbs/pul<sup>2</sup>

-Espesor de laminaciones: 3/4"

Donde:  $W_t = \text{Carga total} = CV + CM$

$L = \text{Luz total que cubre el arco}$

$h = \text{Altura total del arco}$

3. Determine el peralte en la base ( $db$ ) y asuma el ancho ( $b$ ) usando la ecuación:

$$db = \frac{3 Rh}{2 F_v b}$$

Donde:  $R_h = \text{Reacción horizontal, determinada en paso 2}$

$F_v = \text{Esfuerzo de corte}$

$b = \text{ancho asumido}$

4. Calcular el momento en la sección crítica, multiplique  $R_h$  por la distancia ( $x$ ) desde la sección crítica.

a) Calcular ( $x$ ) %  $x-y-D$

Donde:  $y = \text{Altura de columna}$

$D = \text{Distancia del vértice viga-columna a la sección mayor de la columna.}$

b) Determine ( $D$ ) use tabla No. 9

Inclinación del Techo	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12
(D) Dimensión (pies)	8.59	7.91	7.29	6.73	6.22	5.77	5.36	5.00	4.67

TABLA No.9

Fuente: Uso de la Madera Lam. como Material Estruc. Ventajas de su aplicación en Guate. pag. No. 63

$M = 12 (R_h \times X)$

Donde: 12 = Para convertir a pulgadas

$R_h = \text{Reacción horizontal}$

$X = \text{Distancia de la base a la tangente baja.}$

5. Seleccione el radio de curvatura de acuerdo al grosor de laminaciones empleadas y determine el módulo de sección requerido ( $S$ ).

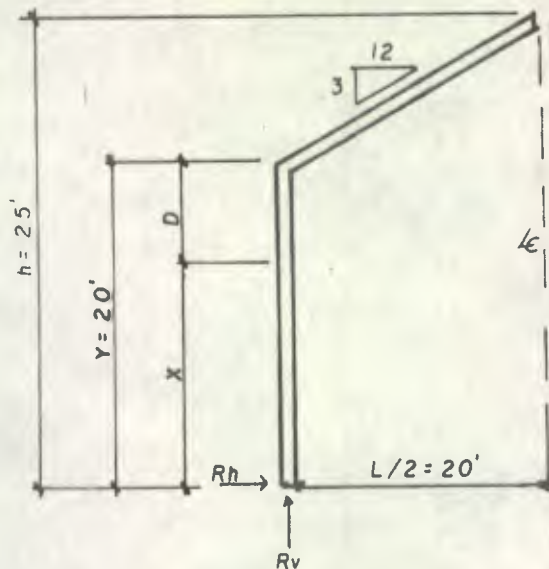
$$S = \frac{M}{F_b}$$

Donde:  $S = \text{Módulo de sección}$

$M = \text{Momento determinado en el paso No. 4}$

Radio de curvatura: 9' 4"

1. Dibujar a escala con los datos del problema



2. Determine la reacción horizontal

$$R_h = \frac{(25 + 15) \text{ lb/pie}^2 \times 16 \text{ pie} \times 40^2 \text{ pie}^2}{8 \times 25 \text{ pie}} = 5,120 \text{ lbs.}$$

3. Asumir un ancho  $b = 5 \frac{1}{8}''$ , determine el peralte en la base (db)

$$d_b = \frac{3 \times 5,120 \text{ lb}}{2 \times 85 \text{ lb/pul}^2 \times 5.125 \text{ pul}} = 17.63 \approx 18''$$

4. Determine la distancia (D) según tabla No. 9 para inclinación de 3/12  $\Rightarrow D = 7.29'$

Calcular distancia (X)

$$X = y - D \Rightarrow X = 20' - 7.29' = 12.71'$$

Determine el momento

$$M = (5,120 \text{ lb} \times 12.71 \text{ pie}) \times 12 \text{ pul/pie} = 780,902.4 \text{ lb-pul}$$

5. Determine el módulo de sección requerido en el punto crítico

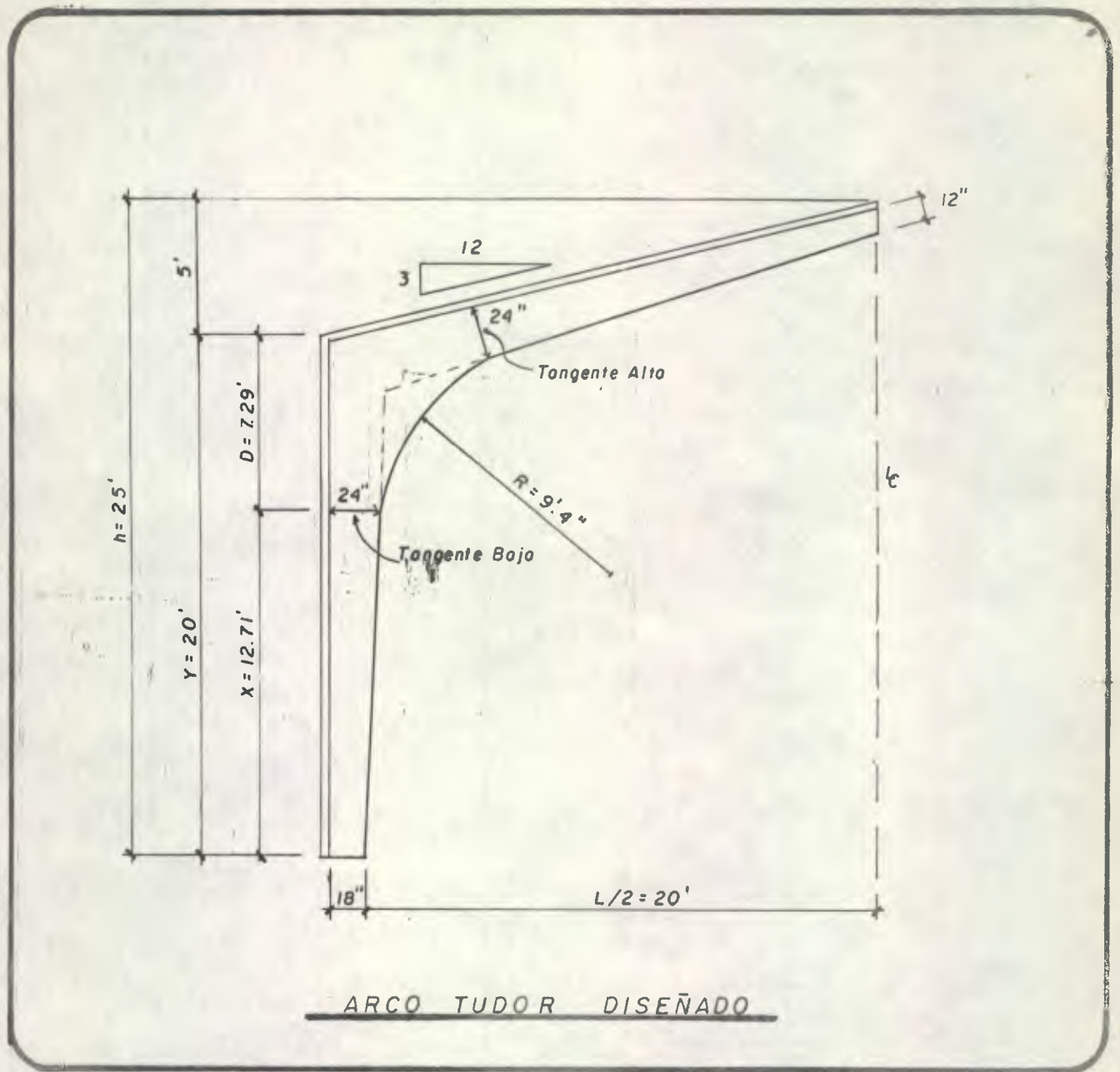
$$F_b = 1,930 \times 0.91 = 1,756.3 \text{ lb/pul}^2$$

$$S = \frac{M}{F_b} = \frac{780,902.4 \text{ lb-pul}}{1,756.3 \text{ lb/pul}^2} = 444.63 \text{ pul}^3$$

Buscando en tabla No. 10 con un ancho de  $5 \frac{1}{8}''$  y buscando un (S) cercano  $\Rightarrow$  usar 467.7 para  $d_r = 23.25 \approx 24''$ .

6. Determine el peralte en la cumbrera  $= \frac{1}{2} d_r = 0.5 \times 24 = 12''$ .

7) Complete los detalles del arco a escala



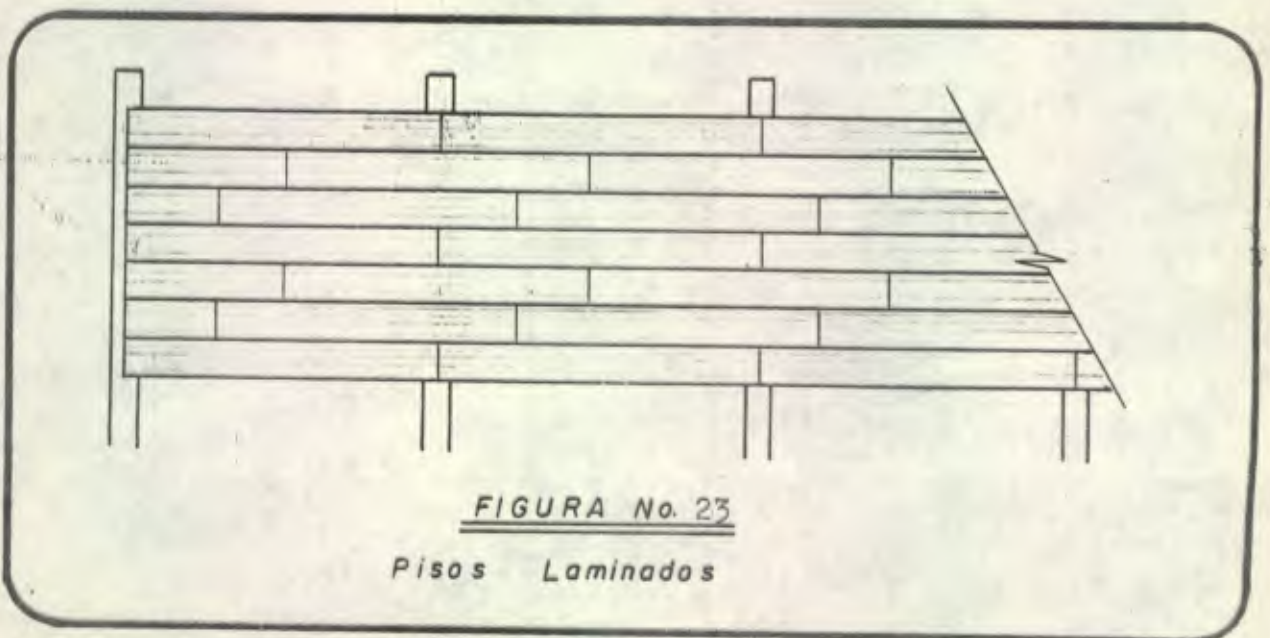
Las cubiertas de Madera Laminada son una parte importante en el sistema de construcción que utiliza vigas o arcos de Madera Laminada.

Los pisos o cubiertas consisten en madera colocada con su cara ancha apoyándose sobre los soportes, clavados firmemente a éstos, en este tipo de cubiertas se emplean ensambles tipo macho-hembra ó de lengüeta para miembros de 4" o más.

La separación de las vigas en las que se apoya la cubierta varían de 6 a 11 pies, lo cual depende del tipo y magnitud de la carga viva a soportar.

Los pisos laminados deben estar formados por piezas de una longitud de dos o más claros con los extremos alternados apróximadamente 4 pies. De esta forma el piso queda más rígido, en los claros grandes es difícil obtener miembros de dos claros de longitud y un método muy utilizado es alternar las juntas.

En Madera Laminada las flechas de los pisos es aconsejablemente menor, ésto se debe a que los miembros funcionan como vigas continuas.



5.5 Análisis Comparativo entre el Costo de una estructura de Acero y una estructura de Madera Laminada

Para poder demostrar la hipótesis que es el objetivo del presente trabajo de tesis (ver numeral 1.6, capítulo No.1) se hace necesario realizar este análisis comparativo entre el costo de una estructura de acero y una de madera laminada, se han tomado los mismos datos de luz, altura y geometría muy similar.

5.5.1 Estimación de los Costos de un Marco Rígido de Estructura de Acero de Alma llena.

Cálculo de materiales, se hara para 1/2 marco ya que el marco analizado es simétrico.

Patín Exterior:

$$\text{En columna} = 10' + 10' = 20'$$

$$\text{En viga} = 10' + 10' + 0.67' = 20.67'$$

$$\Rightarrow \text{Total Patín Exterior} = 20' + 20.67' = 40.67'$$

Patín Interior:

$$\text{En columna} = 10' + 10.03' = 20.03'$$

$$\text{En viga} = 10.31' + 9.95' = 20.26'$$

$$\Rightarrow \text{Total Patín Interior} = 20.03' + 20.26' = 40.29'$$

$$\therefore \text{Patín Exterior} = 40.67'$$

$$\text{Patín Interior} = \underline{40.29'}$$

$$80.96'$$

Multiplique la cantidad total de pies lineales por el ancho de los patines = 4" = 0.333'

$$80.96' \times 0.333' = 26.96 \text{ pie}^2.$$

$$26.96 \text{ pie}^2 \times \text{factor de peso para } 1 \text{ pie}^2 \text{ de } 1/4" = 10.2 \text{ \#/pie}^2 \text{ (ver tabla No. 13)} \Rightarrow 26.96 \text{ pie}^2 \times 10.2 \text{ \#/pie}^2 =$$

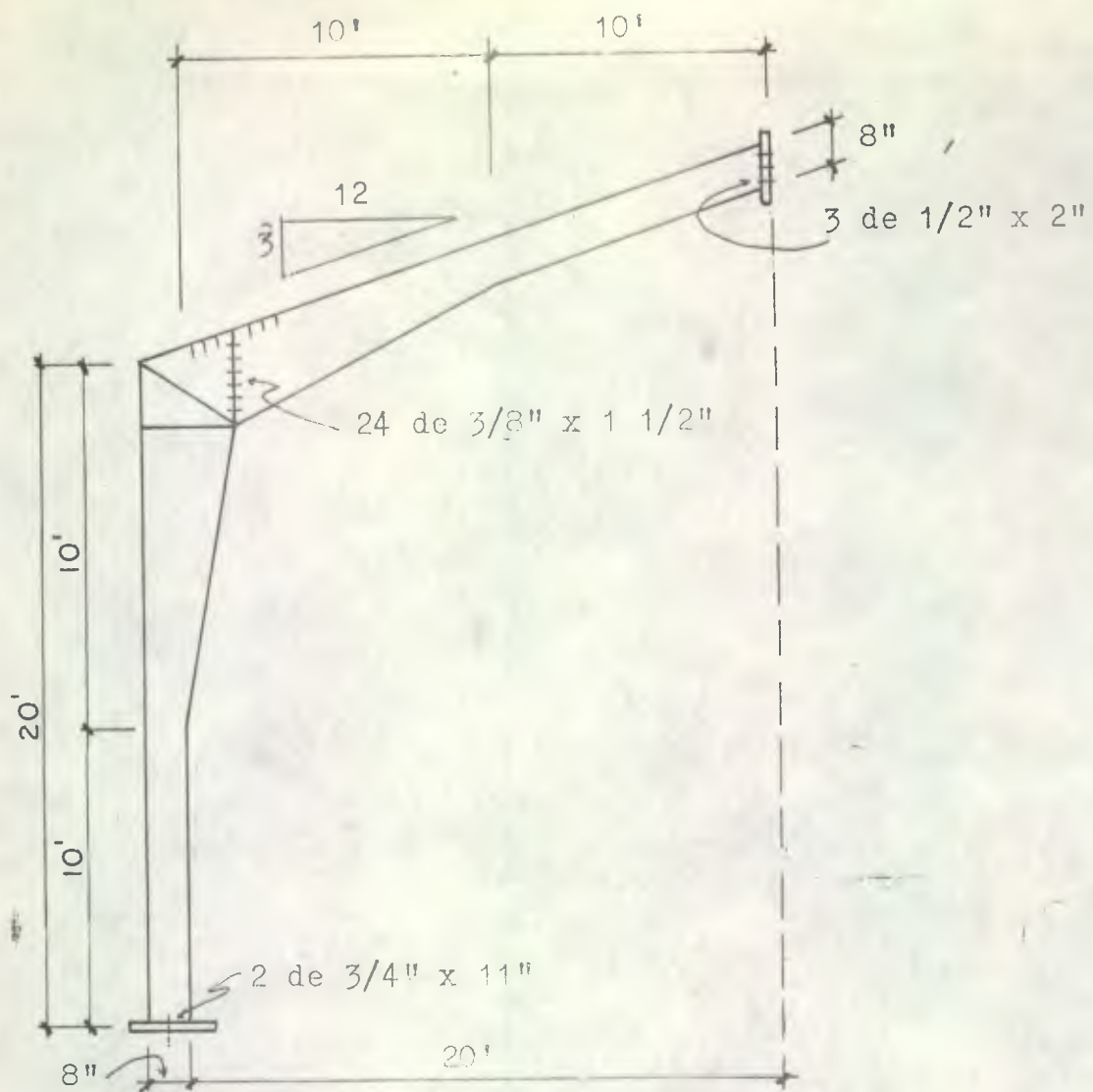
$$274.99 \#, \text{ el costo por libra es de Q.0.60}$$

$$\Rightarrow 274.99 \# \times 0.60 = \text{Q.165.99} \times 2 \text{ lados del marco} = \underline{\text{Q.331.98}}$$

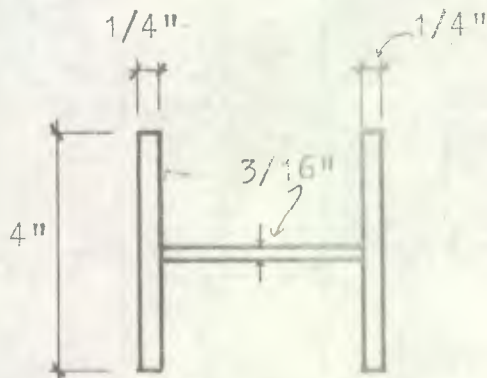
Alma

Para facilitar el cálculo se a procedido a dividir la columna en cuatro figuras.





1/2 Marco Estructura de Acero



Sección de la Estructura

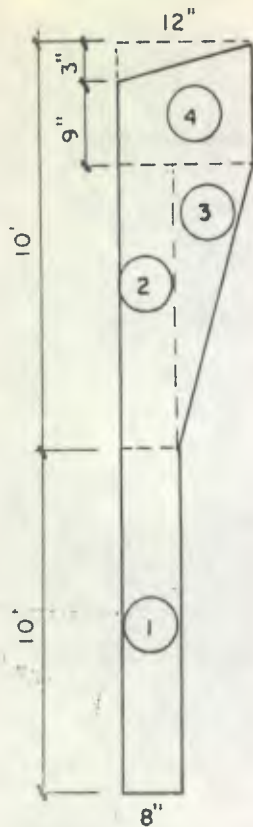


Figura No. 1

$$10' \times 0.67' = 6.7 \text{ pies}^2$$

Figura No. 2

$$9' \times 0.67' = 6.03 \text{ pies}^2$$

Figura No. 3

$$\frac{9' \times 0.33'}{2} = 1.45 \text{ pies}^2$$

Figura No. 4

$$0.75' \times 1' = 0.75 \text{ pies}^2 - 0.125 \text{ pie}^2 = 0.625 \text{ pies}^2$$

Σ de todas las áreas

$$6.7 + 6.03 + 2.97 + 0.625 = 16.33 \text{ pie}^2$$

$$\Rightarrow 16.33 \text{ pie}^2 \times 7.65 \text{ \#/pie}^2 \text{ (de tabla No. 11)} = 124.92 \text{ \#, el costo de la libra es de Q.0.60}$$

$$\Rightarrow 124.92 \text{ \#} \times \text{Q.0.60} = \text{Q.74.95}$$

Estimación del alma en viga

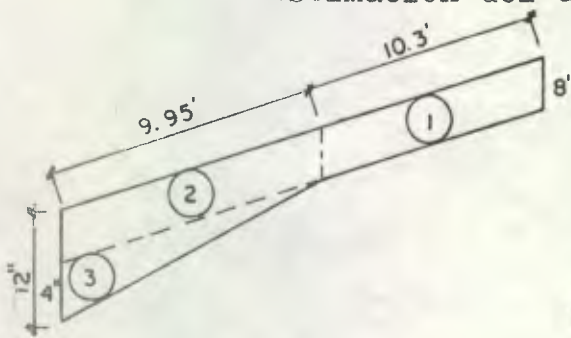


Figura No. 1

$$10.3' \times 0.67' = 6.90 \text{ pies}^2$$

Figura No. 2

$$9.95' \times 0.67' = 6.67 \text{ pies}^2$$

Figura No. 3

$$\frac{9.95' \times 0.33'}{2} = 1.64 \text{ pies}^2$$

Σ de todas las áreas

$$6.90 + 6.67 + 1.64 = 15.21 \text{ pies}^2 \times 7.65 \text{ \#/pie}^2 \text{ (de tabla No. 13)} = 116.36 \text{ \#, multiplicado por el costo de una libra} = \text{Q.0.60} \Rightarrow 116.36 \times 0.60 = \text{Q.69.82}$$

Sumatoria del costo del alma:

$$\text{En Columna} = \text{Q. 74.95}$$

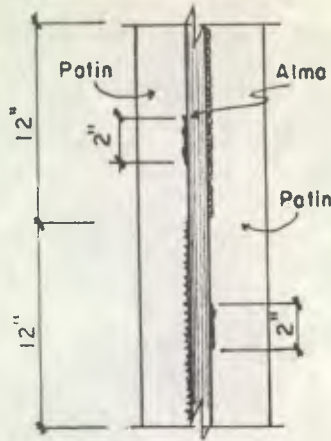
$$\text{En Viga} = \text{Q. 69.82}$$

$$\text{Q.144.77} \times 2 \text{ lados del marco} = \text{Q.289.54}$$

Soldadura

La soldadura se hace continuo en un lado en la longitud de un pie y 2" de soldadura c/8" en el otro lado, en el --

pie siguiente se alterna el procedimiento (ver figura) --



Pies lineales de soldadura = 80.96'

Soldadura de la platina de la cumbrera =  $(0.67' \times 2) + (0.33' \times 2) = 2'$ .

Soldadura de la platina de la base  $(0.67' \times 2) + (0.17' \times 4) = 2.02'$

$\Rightarrow 80.96' + 2' + 2.02' = 84.98' \approx 85'$

En cada pie de estructura se soldaran  $14'' = 1.17'$  de soldadura, -----

$85' \times 1.17' = 99.45$  pies, se utilizan 0.15 # de electrodo por pie lineal de estructura  $\therefore 99.45$  pies  $\times$  0.15#/pie = 14.92 #, el precio por libra de electrodo es de Q.3.50 --  
 $\Rightarrow 14.92 \times 3.50 = Q.52.22 \times 2$  lados del marco = Q.104.44 -----

#### Pernos

- En la cumbrera 6 de  $1/2'' \times 2''$  precio de cada perno = Q.1.00  
 $\Rightarrow 6 \times 1.00 = Q.6.00$

- Union viga-columna 24 de  $3/8'' \times 1 1/2''$  precio de c/perno Q.0.66  $\Rightarrow 24 \times 0.66 = Q.15.84 \times 2$  lados del marco = Q.31.68

- En la base 2 de  $3/4'' \times 11''$  precio por perno = Q.6.00  $\Rightarrow 2 \times 6 = Q.12.00 \times 2$  lados del marco = Q.24.00.

Total costo de pernos =  $6.00 + 31.68 + 24.00 =$  Q.61.68

#### Pintura

3 galones pintura anticorrosiva cubren 1 tonelada métrica de acero, se tienen en medio marco de la estructura

Patines = 274.99 #

Alma = 241.28 #

516.27 #

1 tonelada métrica = 2,200 #

$\Rightarrow 516.27 / 2,200 = 0.235$  Ton. Met.  $\Rightarrow 0.235 \times 3 = 0.705$  Galones un galón cuesta Q.22.00  $\Rightarrow 0.705 \times 22 = Q.15.51 \times 2$  lados del marco = Q.31.02

#### Integración de costos de materiales

Acero = 621.52 + Soldadura = 104.44 + Pernos = 61.68 + Pintura = 31.02 Total = 818.66 + 10% de imprevistos = 81.87 Total de materiales = Q.900.53

Mano de Obra:

La mano de obra se divide en taller y montaje.

Taller, se necesitan 60 horas de trabajo para cada tonelada métrica de acero, dicho tiempo comprende corte, soldadura, esmerilado, pintura etc.

⇒ para medio marco tenemos 0.235 toneladas métricas  
0.235 Ton. Met. x 60 Horas/ Ton. Met. = 14.1 Horas ⇒ 6 trabajadores x 14.10 horas = 84.6 horas/hombre, si cada hora/hombre cuesta Q. 2.50 ⇒ 84.6 x 2.50 = Q. 211.50, prestaciones = 68 % ⇒ 211.5 + Q. 143.82 = Q. 355.32

Montaje

0.235 Ton. Met. x 55 horas/ton. met. = 12.93 horas ⇒ 6 trabajadores x 12.93 = 77.58 horas/hombre ⇒ 77.58 x 2.50 = --  
Q. 193.95, prestaciones = 68 % ⇒ 193.95 + 131.89 = Q. 325.84

Sumatoria de mano de obra de taller y montaje

- Taller =	355.32 x 2 lados del marco =	Q. 710.64
- Montaje =	325.84 -- 2 lados del marco =	<u>Q. 651.68</u>
		Q. 1,362.32
	Inprev. 10 % =	<u>Q. 136.23</u>
		<u>Q. 1,498.55</u>

COSTO DIRECTO

-Materiales -----	Q. 900.53
-Mano de Obra -----	Q. 1,498.55
-Depreciación Maquinaria y Equipo -----	Q. 45.58
-Depreciación Vehículos -----	Q. 40.11
-Depreciación Herramienta -----	Q. 136.75
-Transporte -----	<u>Q. 38.38</u>
	Q. 2,659.90

COSTO INDIRECTO

-Administración 15% -----	Q. 398.96
-Supervisión 10% -----	Q. 265.99
-Honorarios Prof. 25% -----	Q. 664.98
-Utilidad 20% -----	<u>Q. 531.98</u>
	Q. 1,861.91

INTEGRACION DE COSTOS

-Costo Directo -----	Q. 2,659.90
-Costo Indirecto -----	<u>Q. 1,861.91</u>
COSTO TOTAL -----	<u>Q. 4,521.81</u>

(1) El método para la estimación de costos fue proporcionado por la Transformadora Industrial de Pittsburgh (TIPIC S.A.)

## WEIGHT OF RECTANGULAR SECTIONS

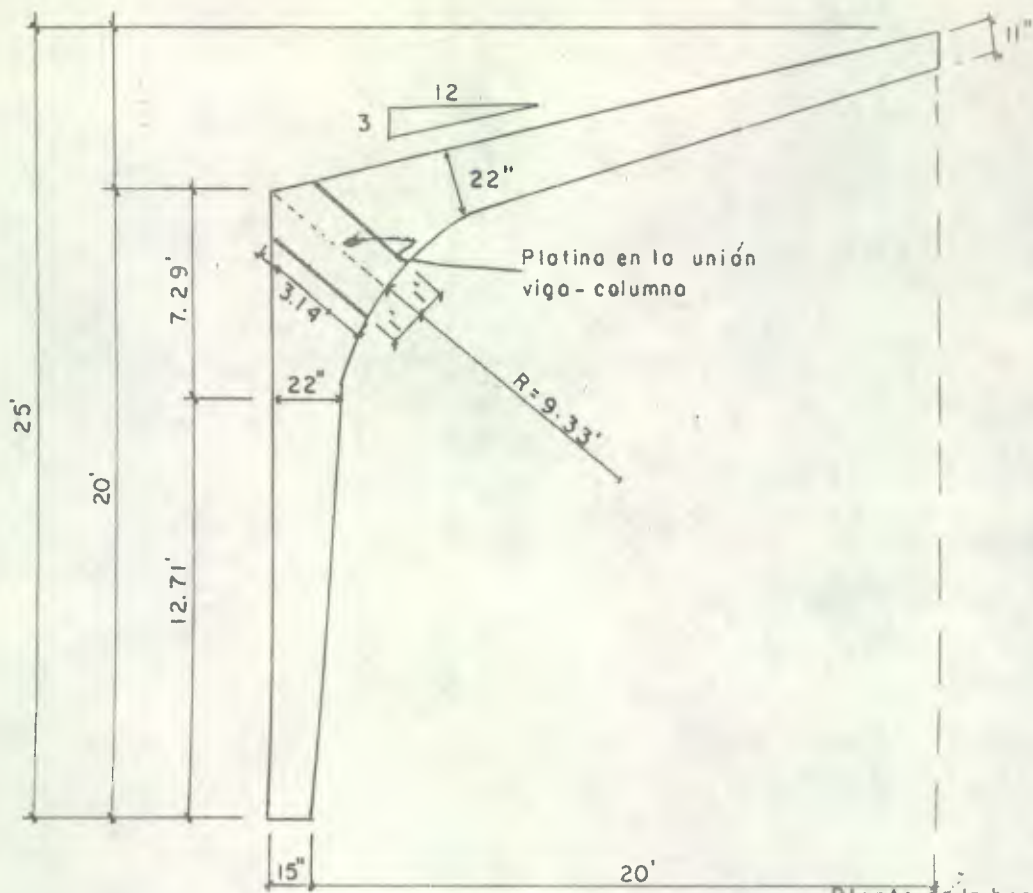
### Pounds per linear foot

Width In.	Thickness, Inches													
	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1
10 1/4	6.53	8.71	10.9	13.1	15.3	17.4	19.6	21.8	24.0	26.1	28.3	30.5	32.7	34.9
10 1/2	6.69	8.93	11.2	13.4	15.6	17.9	20.1	22.3	24.5	26.8	29.0	31.2	33.5	35.7
10 3/4	6.85	9.14	11.4	13.7	16.0	18.3	20.6	22.8	25.1	27.4	29.7	32.0	34.3	36.6
11	7.01	9.35	11.7	14.0	16.4	18.7	21.0	23.4	25.7	28.1	30.4	32.7	35.1	37.4
11 1/4	7.17	9.55	12.0	14.3	16.7	19.1	21.5	23.9	26.3	28.7	31.1	33.5	35.9	38.3
11 1/2	7.33	9.78	12.2	14.7	17.1	19.6	22.0	24.4	26.9	29.3	31.8	34.2	36.7	39.1
11 3/4	7.49	9.99	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0
12	7.65	10.2	12.8	15.3	17.9	20.4	23.0	25.5	28.1	30.6	33.2	35.7	38.3	40.8
12 1/2	7.97	10.6	13.3	15.9	18.6	21.3	23.9	26.6	29.2	31.9	34.5	37.2	39.8	42.5
13	8.29	11.1	13.8	16.6	19.3	22.1	24.9	27.6	30.4	33.2	35.9	38.7	41.4	44.2
13 1/2	8.61	11.5	14.3	17.2	20.1	23.0	25.8	28.7	31.6	34.4	37.3	40.2	43.0	45.9
14	8.93	11.9	14.9	17.9	20.8	23.8	26.8	29.8	32.7	35.7	38.7	41.7	44.6	47.6
14 1/2	9.24	123.	15.4	18.5	21.6	24.7	27.7	30.8	33.9	37.0	40.1	43.1	46.2	49.3
15	9.56	12.8	15.9	19.1	22.3	25.5	28.7	31.9	35.1	38.3	41.4	44.6	47.8	51.0
15 1/2	9.88	13.2	16.5	19.8	23.1	26.4	29.6	32.9	36.2	39.5	42.8	46.1	49.4	52.7
16	10.2	17.0	17.0	20.4	23.8	27.2	30.6	34.0	37.4	40.8	44.2	47.6	51.0	54.4
16 1/2	10.5	14.0	17.5	21.0	24.5	28.1	31.6	35.1	38.6	42.1	45.6	49.1	52.6	56.1
17	10.8	14.5	18.1	21.7	25.3	28.9	32.5	36.1	39.7	43.4	47.0	50.6	54.2	57.8
17 1/2	11.2	14.9	18.6	22.3	26.0	29.8	33.5	37.2	40.9	44.6	48.3	52.1	55.8	59.5
18	11.5	15.3	19.1	23.0	26.8	30.6	34.4	38.3	42.1	45.9	49.7	53.6	57.4	61.2
18 1/2	11.8	15.7	19.7	23.6	27.5	31.5	35.4	39.3	43.2	47.2	51.1	55.0	59.0	62.9
19	12.1	16.2	20.2	24.2	28.3	32.3	36.3	40.4	44.4	48.5	52.5	56.5	60.6	64.6
19 1/2	12.4	16.6	20.7	24.9	29.0	33.2	37.3	41.4	45.6	49.7	53.9	58.0	62.2	66.3
20	12.8	17.0	21.3	25.5	29.8	34.0	38.3	42.5	46.8	51.0	55.3	59.5	63.8	68.0
20 1/2	13.1	17.4	21.8	26.1	30.5	34.9	39.2	43.6	47.9	52.3	56.6	61.0	65.3	69.7
21	13.4	17.9	22.3	26.8	31.2	35.7	40.2	44.6	49.1	53.6	58.0	62.5	66.9	71.4
21 1/2	13.7	18.3	22.8	27.4	32.0	36.6	41.1	45.7	50.3	54.8	59.4	64.0	68.5	73.1
22	14.0	18.7	23.4	28.1	32.7	37.4	42.1	46.8	51.4	56.1	60.8	65.5	70.1	74.8
22 1/2	14.3	19.1	23.9	28.7	33.5	38.3	43.0	47.8	52.6	57.4	62.2	66.9	71.7	76.5
23	14.7	19.6	24.4	29.3	34.2	39.1	44.0	48.9	53.8	58.7	63.5	68.4	73.3	78.2
23 1/2	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	44.9	49.9	54.9	59.9	64.9	69.9	74.9	79.9
24	15.3	20.4	25.5	30.6	35.7	40.8	45.9	51.0	56.1	61.2	66.3	71.4	76.5	81.6
25	15.9	21.3	26.6	31.9	37.2	42.5	47.8	53.1	58.4	63.8	69.1	74.4	79.9	85.0
26	16.6	22.1	27.6	33.2	38.7	44.2	49.7	55.3	60.8	66.3	71.8	77.4	82.9	88.4
27	17.2	23.0	28.7	34.4	40.2	45.9	51.6	57.4	63.1	68.9	74.6	80.3	86.1	91.8
28	17.9	23.8	29.8	35.7	41.7	47.6	53.6	59.5	65.5	71.4	77.4	83.3	89.3	95.2
29	18.5	24.7	30.8	37.0	43.1	49.3	55.5	61.6	67.8	74.0	80.1	86.3	92.4	98.6
30	19.1	25.5	31.9	38.3	44.6	51.0	57.4	63.8	70.1	76.5	82.9	89.3	95.6	102
31	19.8	26.4	32.9	39.5	46.1	52.7	59.3	65.9	72.5	79.1	85.6	92.2	98.8	105
32	20.4	27.2	34.0	40.8	47.6	54.4	61.2	68.0	74.8	81.6	88.4	95.2	102	109

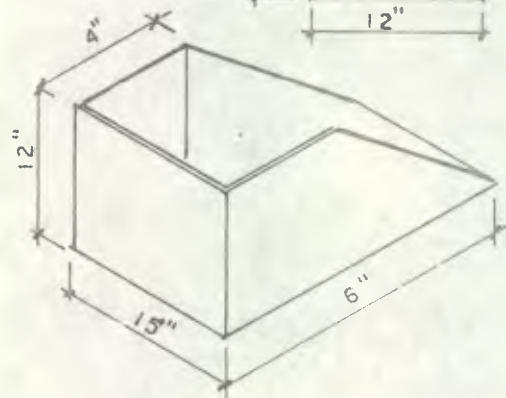
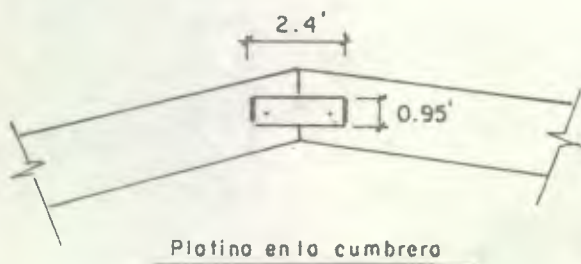
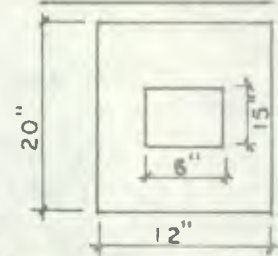
AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

TABLE No. 11





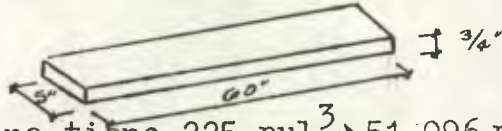
Planta de la base



Detalle de la base

$\frac{0.36 \times 0.20}{2} \times 0.46 \times 2 = 0.59 \text{ pie}^3 \Rightarrow$  las áreas de columna, viga y el punto de unión entre ambos  $\Rightarrow 16.31 + -- 12.67 + 0.59 = 29.57 \text{ pies}^3 = 51,096.00 \text{ pul}^3$

Se usaran láminas de las sig. medidas



$\Rightarrow$  una lámina tiene  $225 \text{ pul}^3 \Rightarrow 51,096 \text{ pul}^3$  se requieren 227 láminas. 1 pie-tabla =  $144 \text{ pul}^3 = 12" \times 12" \times 1" = 144 \text{ pul}^3 \Rightarrow 51096 / 144 = 355$  pies-tablas x 2 lados del marco = 709 pies-tablas  $\Rightarrow$  si un pie tabla de ciprés seco, cepillado y tratado cuesta Q.1.30  $\Rightarrow 707 \times 1.30 = \underline{Q. 921.70}$  el pie-tabla de pino cuesta Q.0.90 x 709 = Q. 638.10

#### Pegamento

Como lo indican las especificaciones deberá emplearse preferentemente un tipo de goma que no contenga agua.

1 galón de pegamento de contacto rinde aproximadamente 196 pies<sup>2</sup> y cuesta Q.23.69  $\Rightarrow$  cada lámina será engomada por ambos lados y en las orillás exceptuando las láminas que van en las caras vistas  $\Rightarrow$  una lámina deberá engomarse en una superficie de 4.2 pies<sup>2</sup> si en todo el marco se requiere engomar 506 láminas = --  $2,125.2 \text{ pies}^2 / 196 = 10.84 \approx 11$  galones  $\Rightarrow$  si un galón cuesta Q.23.69 x 11 = Q. 260.59

#### Platinas de Refuerzo

Para todas las platinas se usará de 1/8" de grosor - platina de refuerzo viga-columna, área 7.12 pie<sup>2</sup> x 4 platinas = 28.48 pies<sup>2</sup> x 5.10#/pie<sup>2</sup> = 145.25 # ---  $\Rightarrow$  si 1# cuesta Q.0.60 x 145.25 = Q.87.15, se usarán 16 pernos por cada dos platinas, pernos de 1/2" x 8", precio por perno = Q.1.60 x 16 = Q. 25.60 x 2 lados del marco = Q. 51.20. Platina en la cumbrera, área = 2.28 pies<sup>2</sup> x 2 platinas = 456 pies<sup>2</sup> x 5.10#/pie<sup>2</sup> = 23.26 # x 0.60 = Q.13.95, pernos de 3/8" x 8", precio por perno = Q.0.96 x 2 pernos = Q.1.92.



La platina de la base, está dada según las recomendaciones de Timber Construction Manual y su área es de  $3.75 \text{ pies}^2 \times 5.10 \# = 19.13 \# \times 0.60 = Q.11.48 \times 2 \text{ bases} = Q.22.95$ , se usaran pernos de  $3/4" \times 12"$  para el anclaje de la base con el anclaje de concreto, cada perno cuesta  $Q.4.00 \Rightarrow 2 \times 4 = Q. 8.00 \times 2 \text{ bases} = Q.16.00$ , 2 pernos de  $1" \times 16"$  para el anclaje de la base con la columna, precio por perno  $Q.7.00 \rightarrow 2 \times 7 = Q.14.00 \times 2 \text{ bases} = Q.28.00 \Rightarrow$  total costo de platinas  $Q.124.05$ , total costo de pernos  $Q.97.12$ .

#### Sellador o Barniz

El precio por galón es de  $Q.25.41$  y su rendimiento es de  $194 \text{ pies}^2$  aprox. El área a cubrir en cada una de las caras será de  $79.7 \text{ pies}^2 \times 2 \text{ caras} = 159.4 \text{ pies}^2 \times 2 \text{ lados del marco} = 318.8 \text{ pies}^2 + \text{ancho} = 22.8 \text{ pies}^2 \times 2 \text{ lados} = 45.6 \text{ pies}^2 \Rightarrow 318.8 \text{ pies}^2 + 45.6 \text{ pies}^2 = 364.4 \text{ pies}^2 \Rightarrow$  se requieren  $1.9 \text{ galones} \approx 2 \text{ galones}$ , se recomiendan por lo menos 3 manos  $\Rightarrow 6 \text{ galones} \times Q.25.41 =$   $Q.152.46$ .

#### Integración de costos de materiales

Madera  $Q.638.10 +$  Pegamento  $Q.260.59 +$  Platinas  $Q.124.05 +$  Pernos  $Q.97.12 +$  Sellador  $Q.152.46$ . Total =  $Q.1272.32 + 10\% \text{ de Imprev. } Q.127.23 \Rightarrow$  Total de materiales =  $Q.1399.55$

#### Mano de Obra

Mano de obra en taller, se requieren 45 horas - por cada metro<sup>3</sup> de madera  $\Rightarrow$  en medio marco tenemos  $16.5 \text{ pie}^3 = 0.468 \text{ met.}^3 \Rightarrow 0.468 \text{ met.}^3 \times 45 \text{ hor./m}^3 = 21.06 \text{ horas} \Rightarrow 6 \text{ trabajadores} \times 21.06 = 126.4 \text{ horas/hombre}$ , si cada hora/hombre cuesta  $Q.1.20 \Rightarrow 126.4 \times 1.20 = Q.151.63 + 68\% \text{ de prestaciones} = Q.103.11 \Rightarrow 151.63 + 114.57 =$   $Q.254.74$

Mano de obra en montaje,  $0.468 \text{ m}^3 \times 40 \text{ horas/m.}^3 = 18.72 \text{ horas} \Rightarrow 6 \text{ trabajadores} \times 18.72 = 112.32 \text{ hora/}$

hombre  $\Rightarrow 112.32 \times 1.20 = Q. 134.78 + 68 \% \text{ de prestaciones} = Q. 91.65 + Q. 134.78 = \underline{Q. 226.43}$

Sumatoria de mano de obra de taller y montaje -  
 -Taller =  $254.74 \times 2 \text{ lados del marco} = Q. 509.48$   
 -Montaje =  $226.43 \times 2 \text{ lados del marco} = \underline{Q. 452.86}$   
 Q. 962.34  
 Inprev. 10% =  $\underline{Q. 96.23}$   
Q. 1,058.57

COSTO DIRECTO

-Materiales ----- Q. 1,399.55  
 -Mano de Obra ----- Q. 1,058.57  
 -Depreciación Maquinaria  
 y Equipo ----- Q. 35.12  
 -Depreciación Vehículos ----- Q. 29.07  
 -Depreciación Herramienta ----- Q. 105.35  
 -Transporte ----- Q. 20.73  
 $\Sigma = Q. 2,648.39$

COSTO INDIRECTO

-Administración 15% ----- Q. 397.26  
 -Supervisión 10% ----- Q. 264.84  
 -Honorarios Prof. 25% ----- Q. 662.09  
 -Utilidad 20% ----- Q. 529.68  
 $\Sigma = Q. 1,853.87$

INTEGRACION DE COSTOS

-Costo Directo ----- Q. 2,648.39  
 -Costo Indirecto ----- Q. 1,853.87 (Acero)  
 COSTO TOTAL ----- Q. 4,502.26 < Q. 4,521.81

Nota: Los costos anteriormente determinados son puramente estimativos, pues en Guatemala no existen plantas de fabricación de Madera Laminada, por consiguiente hubo necesidad de integrar costos de diversos renglones de la diversidad de actividades que se realizan en los aserraderos de Guatemala.

CAPITULO No. VI

6. CAPITULO No. VI

6.1 Detalles Típicos en la construcción de Madera Laminada

Estos detalles tienen por finalidad dar sugerencias a los Arquitectos, Ingenieros y constructores que se dedican a la construcción con madera y así obtener mayor seguridad y buena calidad con un mantenimiento mínimo, todos los detalles que se grafican a continuación han sido construidos con modelos experimentales y se han observado excelentes resultados.-

La cantidad y tamaños requeridos dependerán de las -- cargas a que serán sometidas las estructuras así mismo el Arquitecto ó Ingeniero deberá seleccionar, modificar y diseñar los detalles que mejor se apliquen según el trabajo requerido.-

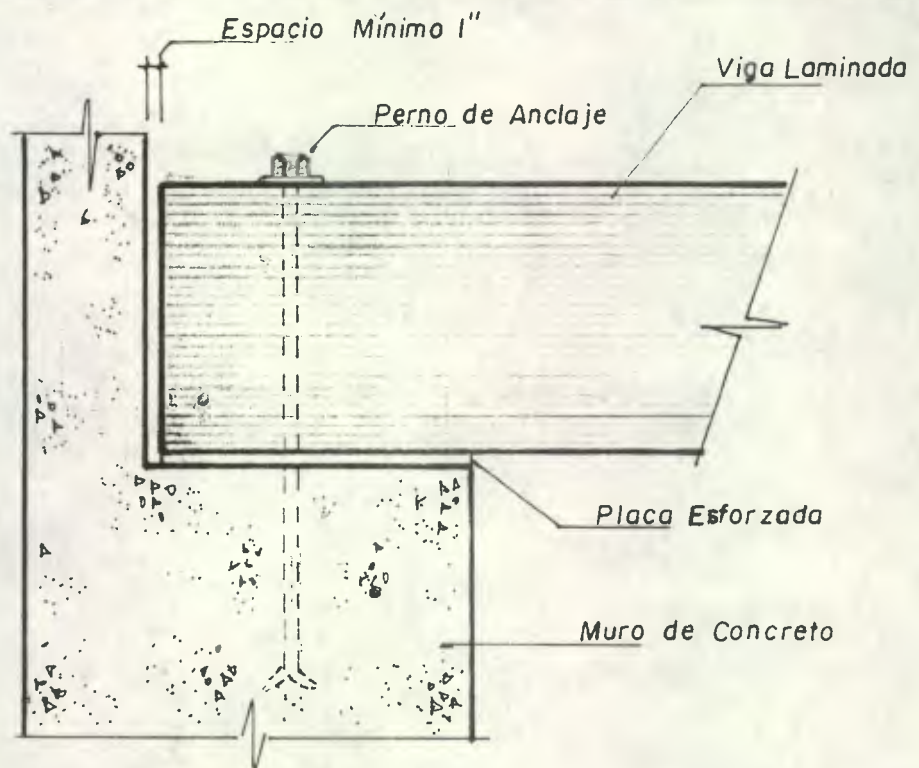
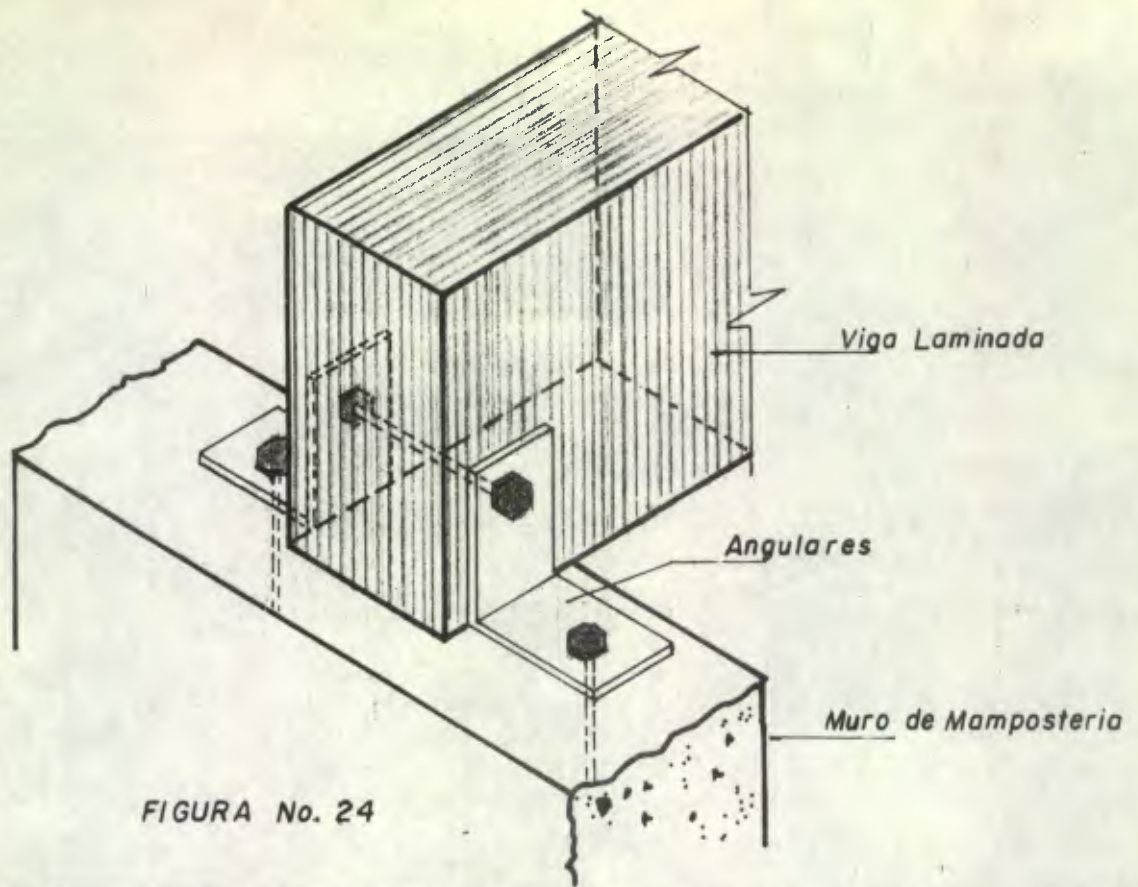


FIGURA No. 24

Detalle de anclaje con un espacio libre para viga. Este tipo de anclaje resiste tanto fuerzas verticales como horizontales. Puede estar anclado en mampostería por uno o más pernos, con o sin placas de corte a través de la viga. Tiene un espacio libre o una barrera impenetrable a la humedad en todas las superficies de contacto de la viga con la pared de mampostería.

FIGURA No. 25

Viga con Anclaje Simple.

Este tipo de detalle es utilizado para vigas de 24" o menos, resisten fuerzas verticales y horizontales, - los agujeros de los pernos deberán ser rellenados en 3/16 de pulgada como mínimo, en la parte inferior se utilizan placas metálicas entre la viga y el muro de mampostería o concreto.

CONEXIONES DE VOLADIZOS

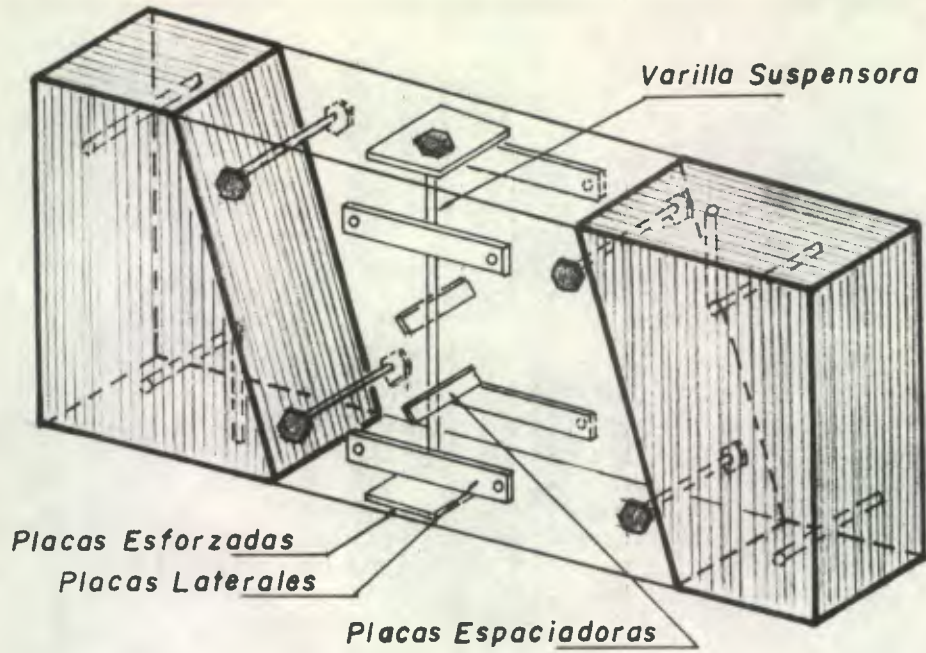


FIGURA No. 26

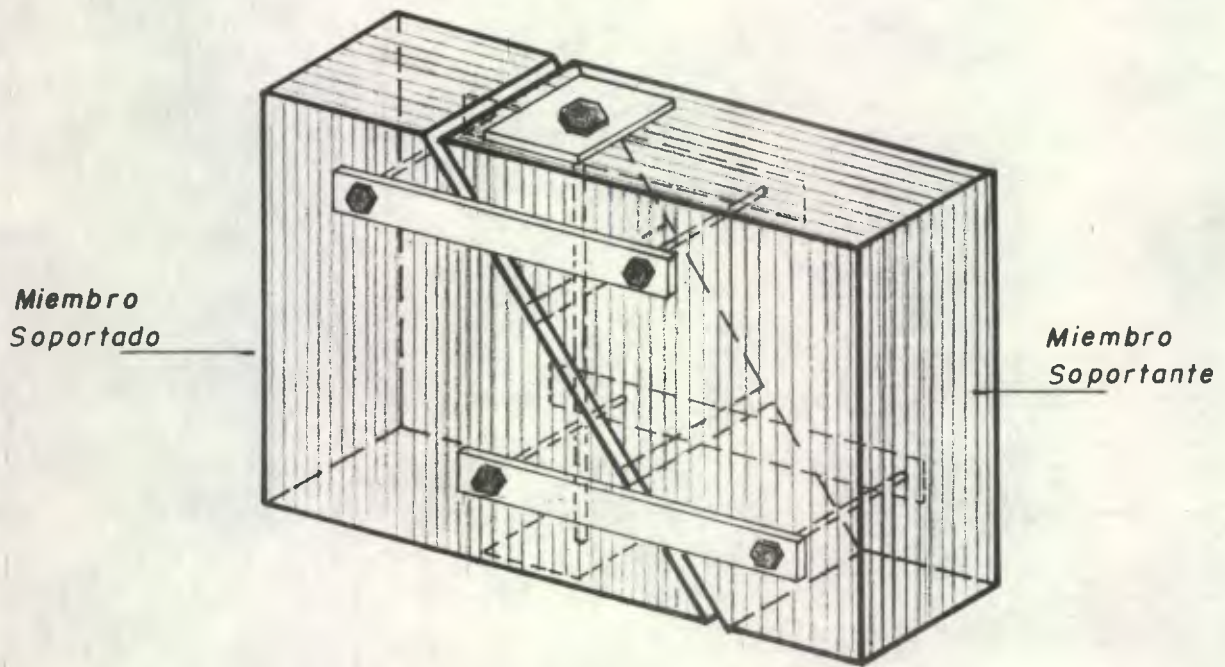


FIGURA No. 27

FIGURA No. 26

Conexión con varilla suspensora para viga en voladizo

Puede usarse para cargas moderadas y pesadas, - la reacción vertical producida por el miembro soportado es absorbida por la varilla suspensora. Las placas esforzadas deben diseñarse para transferir la reacción vertical de la carga perpendicular a la fibra tanto en el miembro soportado como en el soporte.

Las placas espaciadoras están localizadas lo más cerca posible del eje neutro para dejar un espacio libre entre los finales de la viga, este espacio permitirá cierto movimiento rotatorio sin que la viga se astille. Las placas laterales son usadas para mantener alineados los finales de las vigas y cuando es necesario sirven como tirantes axiales.

FIGURA No. 27

La figura No. 27 muestra a la figura No. 26 ya ensamblada.



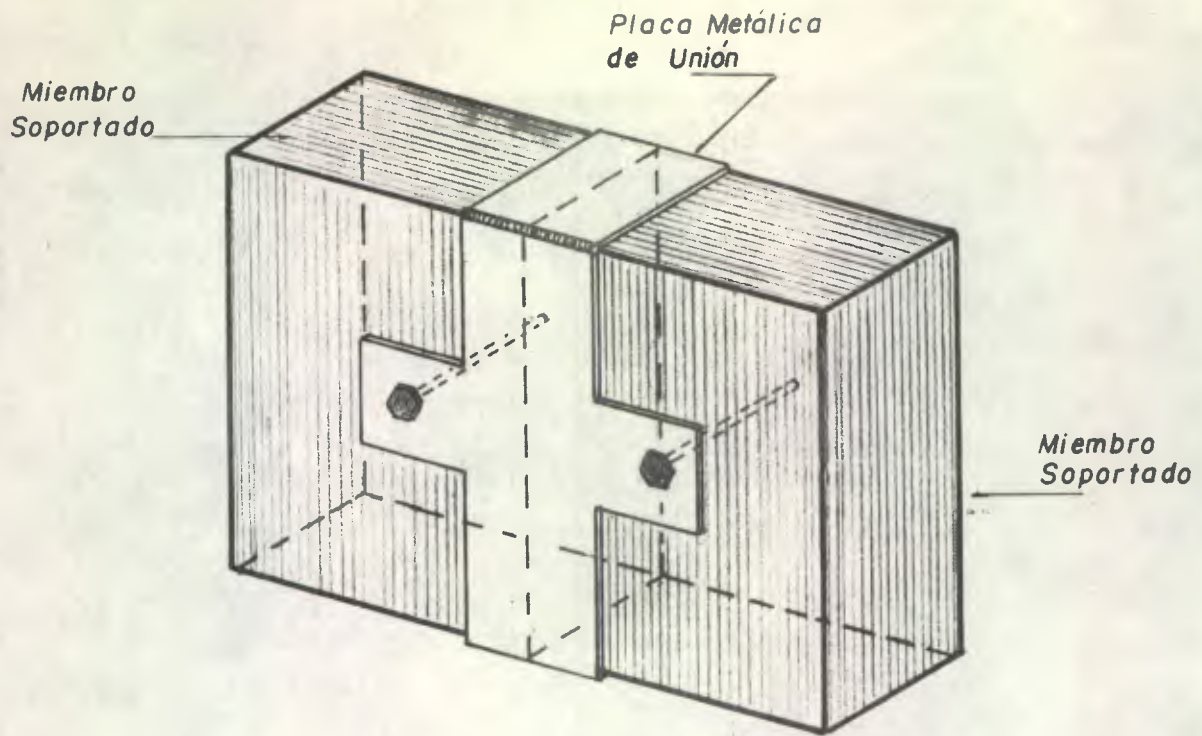


FIGURA No. 28

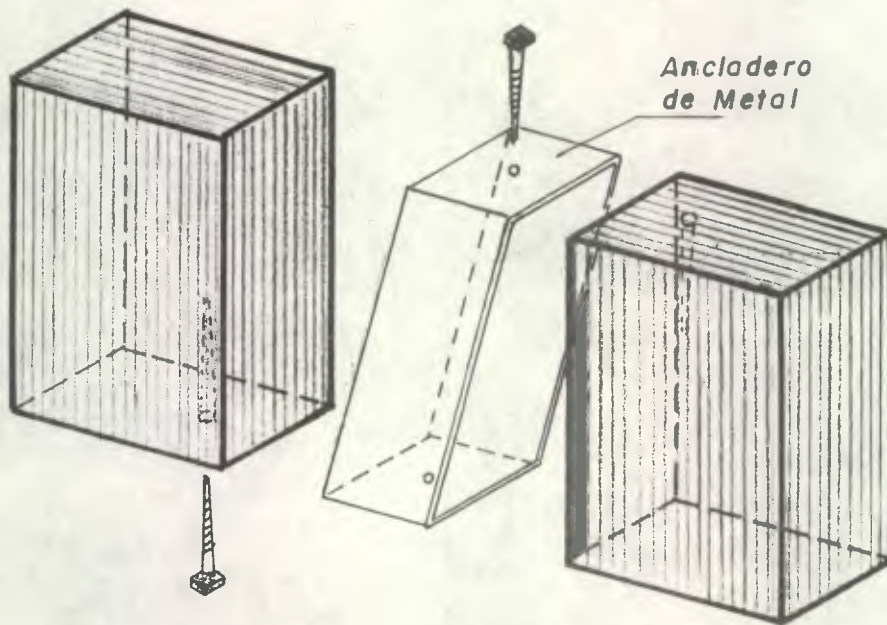


FIGURA No. 29

FIGURA No. 28

Conexión tipo soporte para viga en voladizo con tirante

La reacción vertical del miembro soportado es -- absorbida por las placas laterales del soporte y transmitida perpendicularmente hacia los dos miembros por -- las placas soportantes de la conexión.

La rotación del soporte debida a la carga excentrica es resistida por las placas superior e inferior de la conexión. Para lograr que el esfuerzo se sitúe en las fibras exteriores, se debe dejar la placa pareja al tope de la superficie del miembro soportado.

Las placas a tensión resisten las fuerzas de separación desarrolladas entre las dos vigas por la rotación, además sirven como tirantes axiales.

FIGURA No. 29

Viga simplemente soportada para cargas livianas

Para la construcción de estos detalles las partes de unión tienen cortes a escuadra, se utiliza el mismo método de soporte que las vigas soportadas por tirantes, pero la rotación excéntrica es resistida por pernos.

# CONEXIONES DE VIGAS Y VIGUETAS

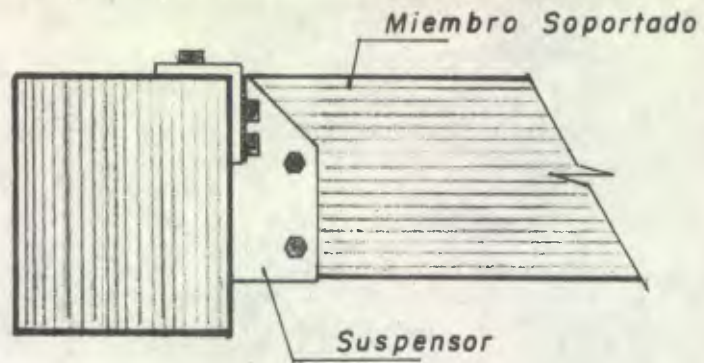


FIGURA No. 30

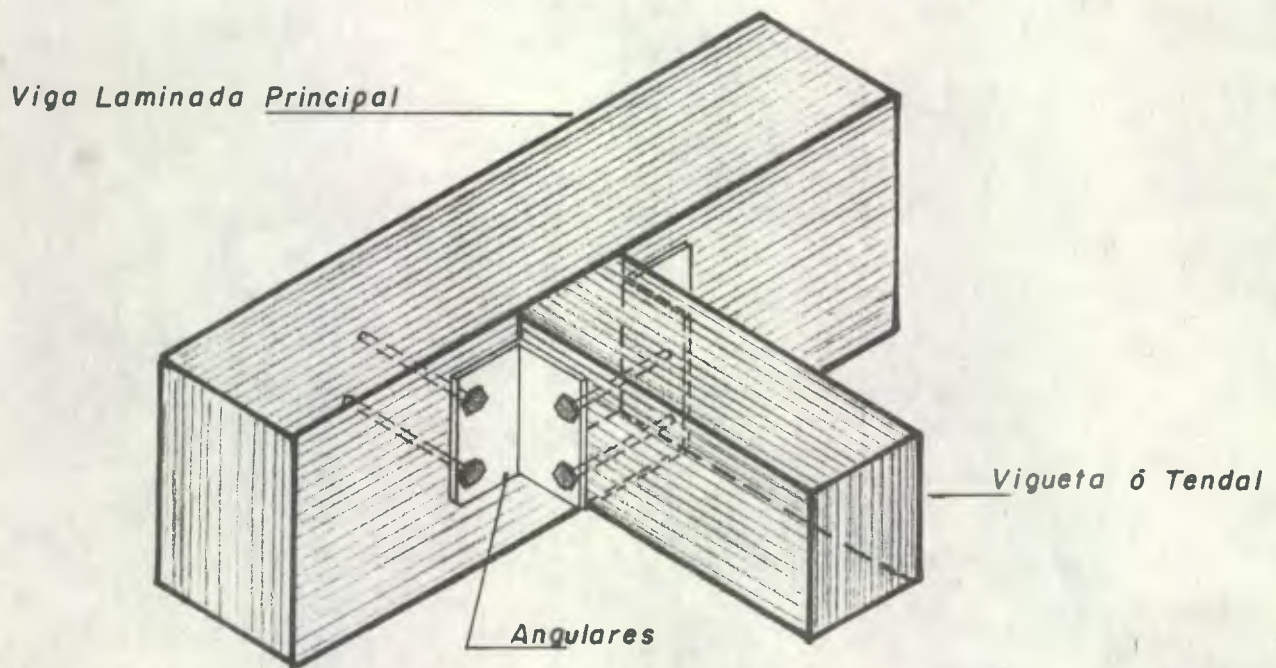


FIGURA No. 31

FIGURA No. 30

Suspensor para vigas o tendales.

En este tipo de conexión el tope del miembro soportado debe quedar parejo con el tope de la placa suspensora.

FIGURA No. 31

Soporte típico para viga o tendal suspendido.

Soporta tanto cargas moderadas como pesadas. Es muy efectivo en conexiones de un solo lado ya que no permite la rotación de la viga principal. El soporte -- utiliza placas metálicas.

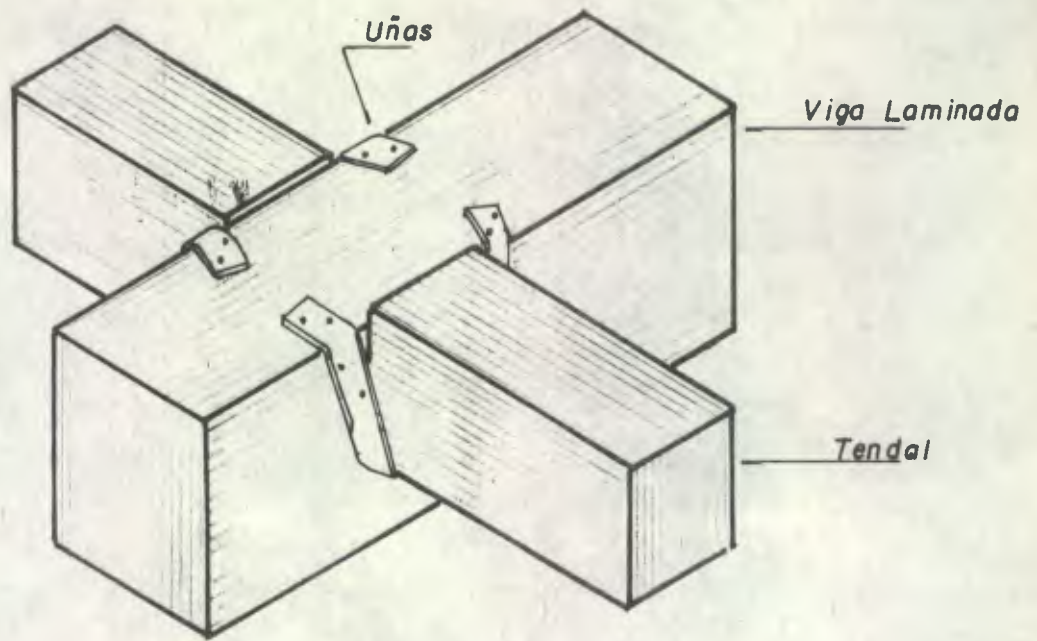


FIGURA No. 32

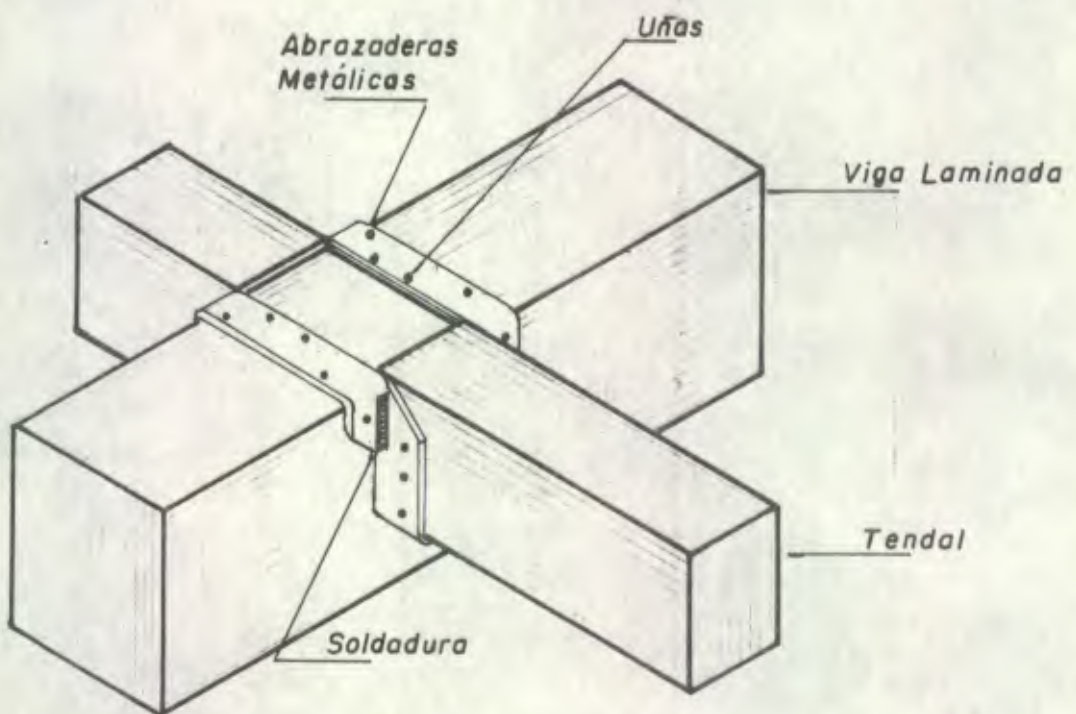


FIGURA No. 33

FIGURA No. 32

Placas de Refuerzo Dobladas.

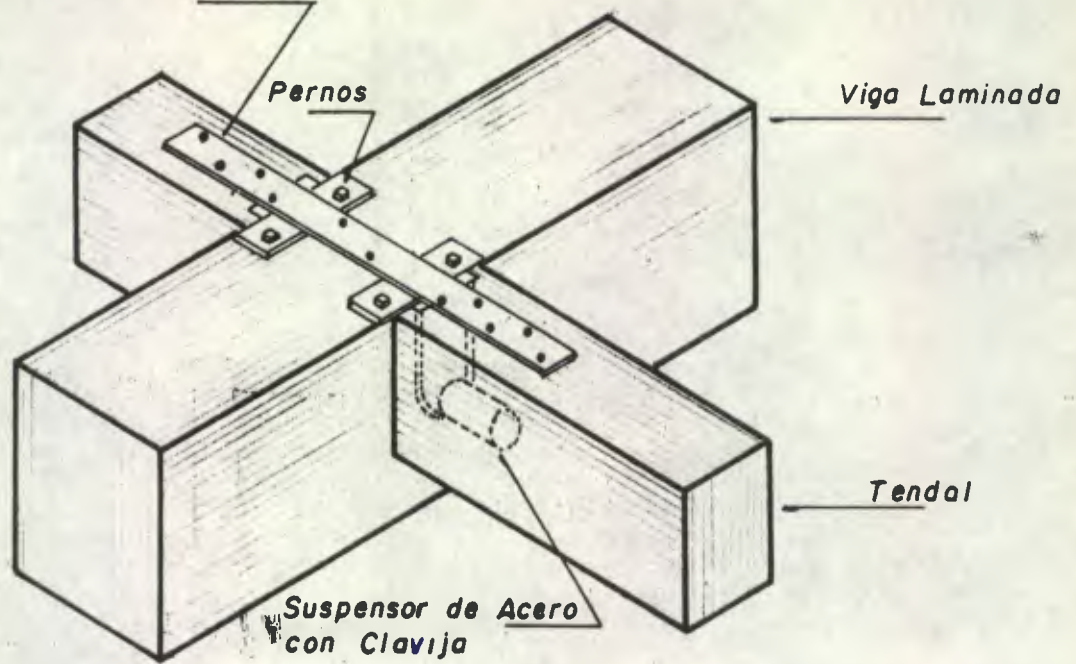
Resiste cargas livianas y moderadas, provee una apariencia uniforme, los tendales deberán ser colocados más alto que la parte superior de la viga.

FIGURA No. 33

Suspensor para Parales con Piezas Metálicas en forma de "U" Soldadas.

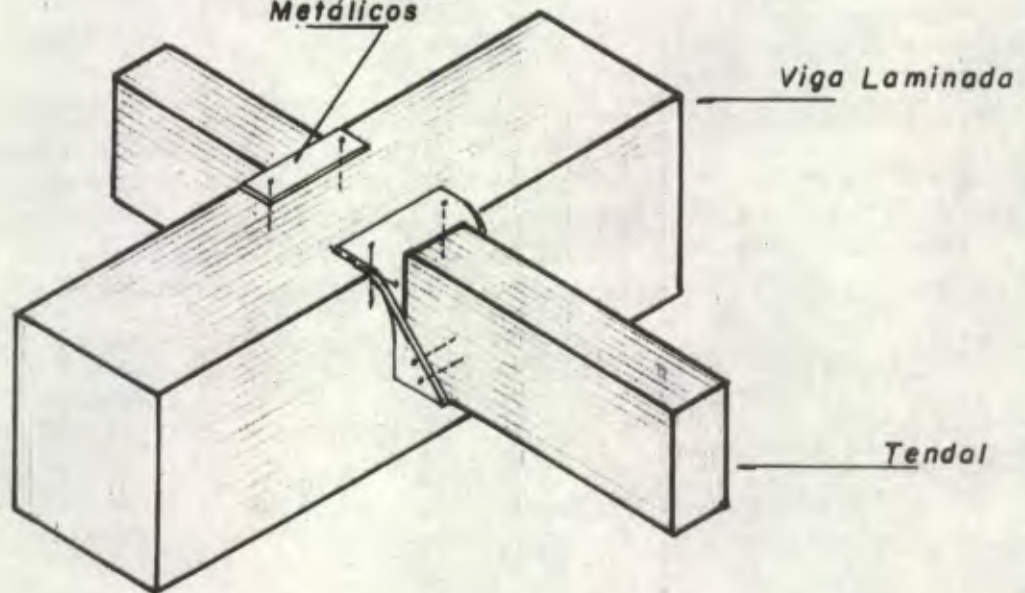
Se utiliza para cargas moderadas y pesadas. Brinda ajustes perfectos cuando se desea una buena apariencia. Los muros deberán sobresalir del tope de la viga - para permitir el envolvimiento de las "ues".

**Tirante Metálica a través  
de la viga y tendal**



**FIGURA No. 34**

**Sostenedores  
Metálicos**



**FIGURA No. 35**

FIGURA No. 34

Conexión para tendal con suspensor oculto para cargas moderadas y ligeras.

No es recomendable usar este tipo de conexión con madera que no esté completamente seca. para diseñar el tendal hay que tomar en cuenta el área de soporte y la acción de la incisión de la viga. El 50% de incremento por corte en detalles de uniones no es aplicable en este caso.

FIGURA No. 35

Viga Tirante con Suspensión por Placa Metálica.

Se utiliza para cargas livianas y viguetas pequeñas unidas a la viga principal por medio de placas metálicas, utilizando clavos o pernos como medio de anclaje.



## ANCLAJES DE VIGAS Y COLUMNAS

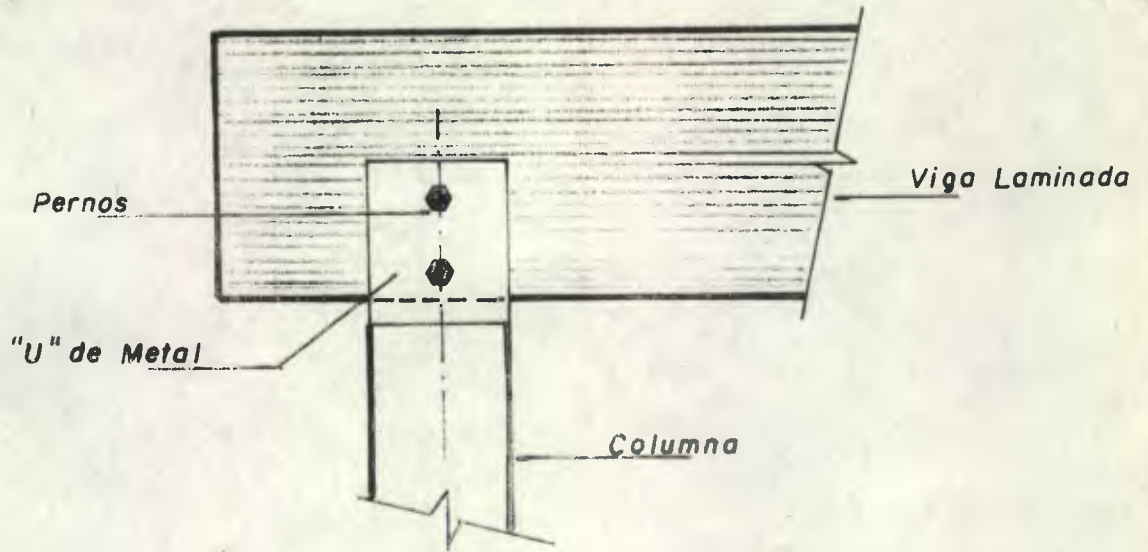


FIGURA No. 36

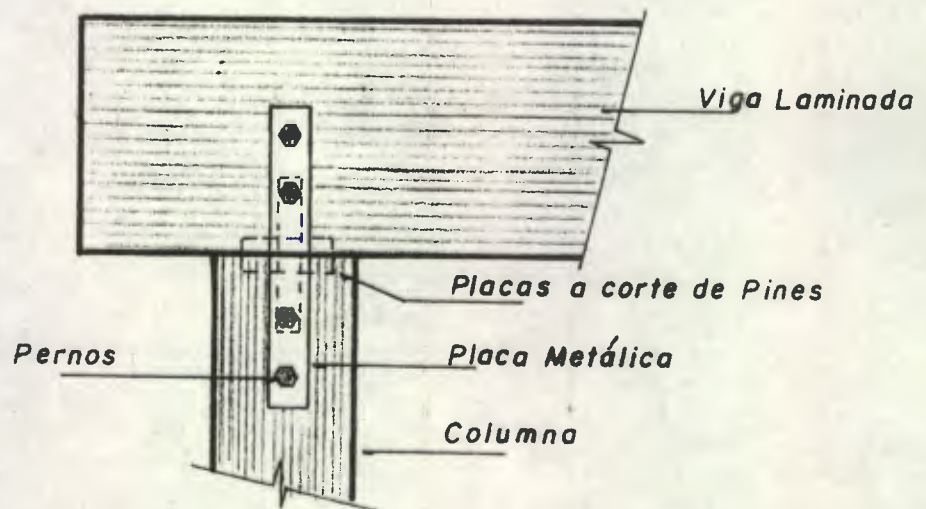


FIGURA No. 37

FIGURA No. 36

Columna con Suspensores de Hierro.

El suspensor de metal en "U" rodea el miembro y es soldado en la parte superior de la columna, la unión entre el suspensor de metal y la viga se hace por medio de pernos.

FIGURA No. 37

Unión entre viga y columna de madera. Especial para resistir fuerzas verticales. La placa esforzada de metal puede ser usada cuando la sección transversal de la columna es insuficiente para que la viga soporte el esfuerzo a compresión perpendicular a la fibra.-

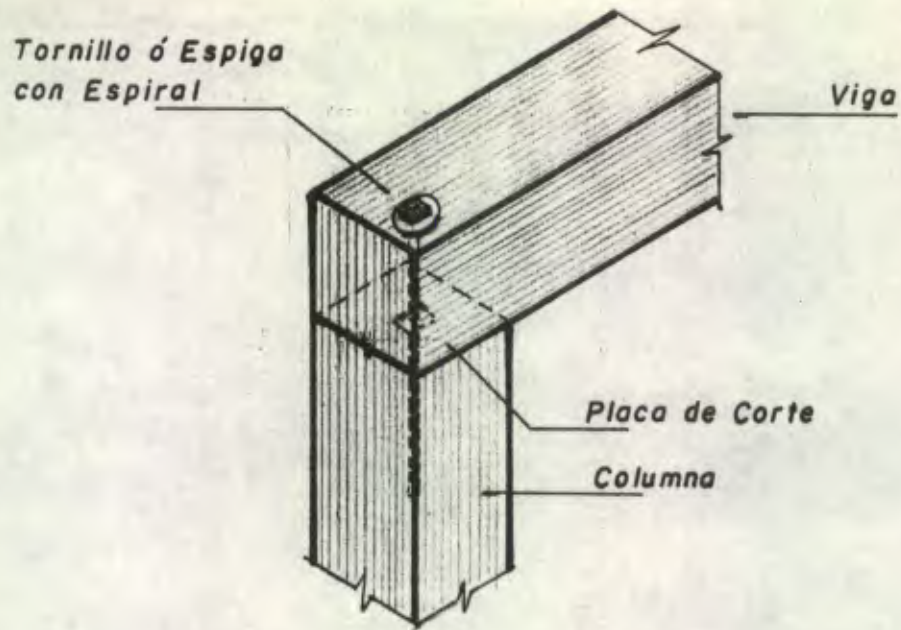


FIGURA No. 38

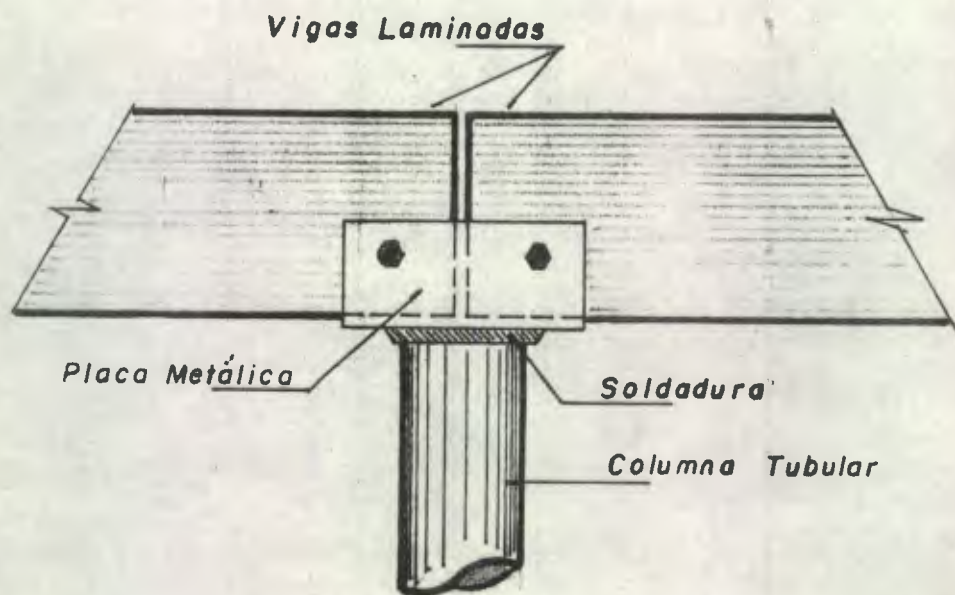


FIGURA No. 39

FIGURA No. 38

Conexión entre columna y viga de madera con  
espira oculta.-

FIGURA No. 39

Conexión para vigas de madera y columna tubular  
metálica.-

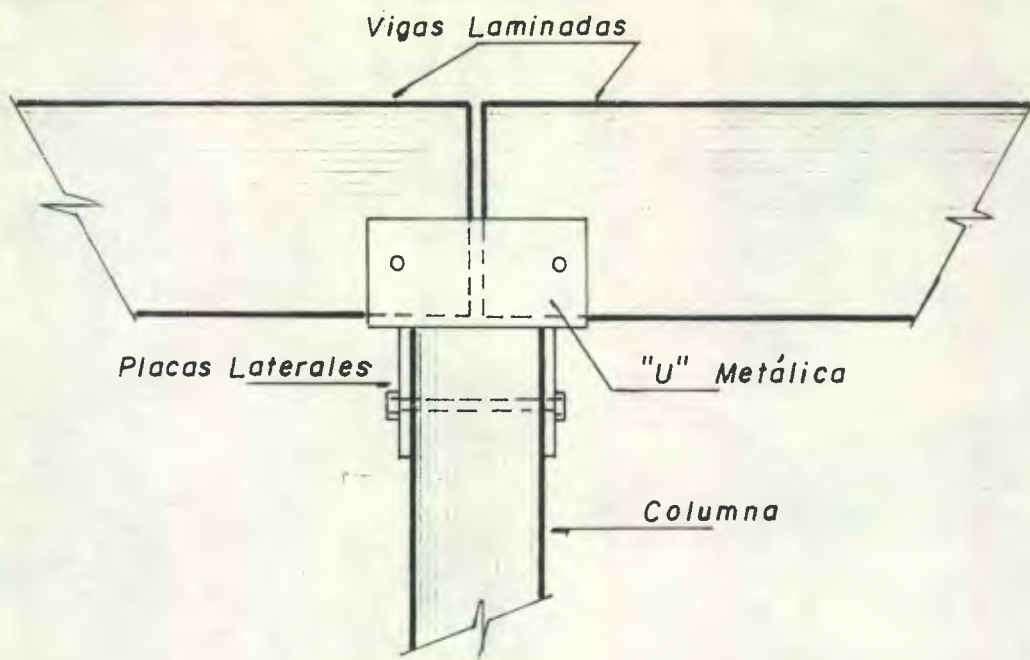


FIGURA No. 40

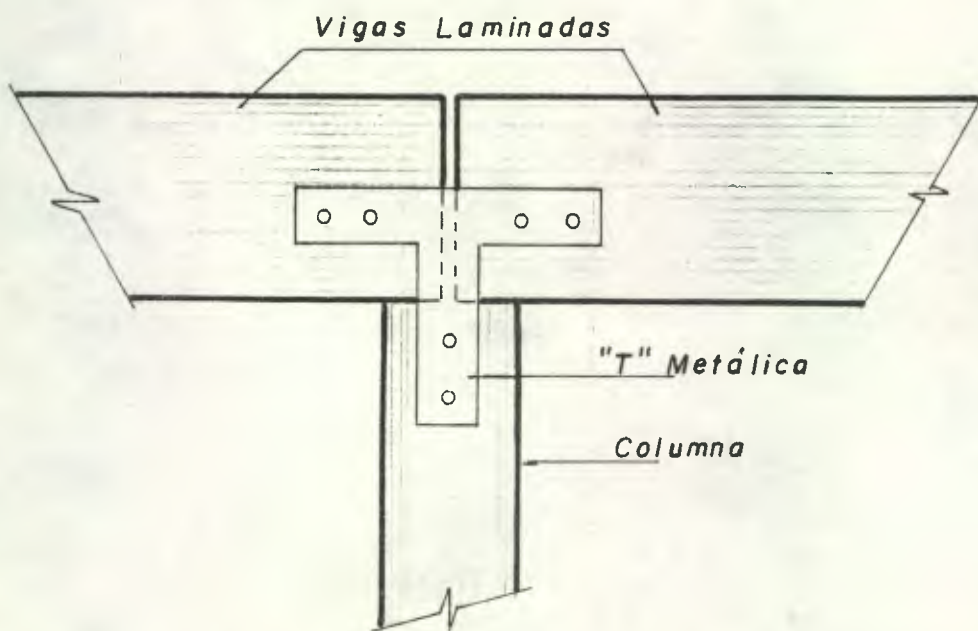


FIGURA No. 41

FIGURA No. 40

Unión entre vigas y columnas de madera mediante "U" metálica. La "U" rodea las vigas y está soldada a las placas metálicas laterales. Estas placas se unen con pernos a la columna.-

FIGURA No. 41

Unión entre vigas y columnas de madera con "T" metálica. La "T" está unida con pernos a dos vigas colindantes y a una columna. Cuando la sección transversal de la columna es insuficiente, para que las vigas resistan compresión perpendicular a la fibra, puede usarse un angular metálico extra.-

## ANCLAJES DE COLUMNAS

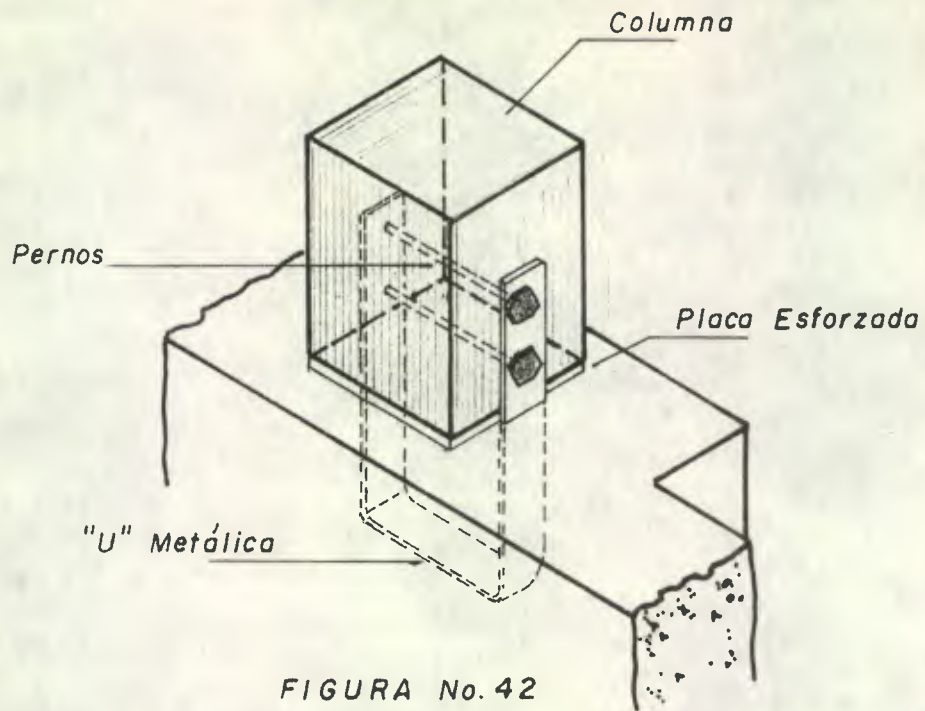


FIGURA No. 42

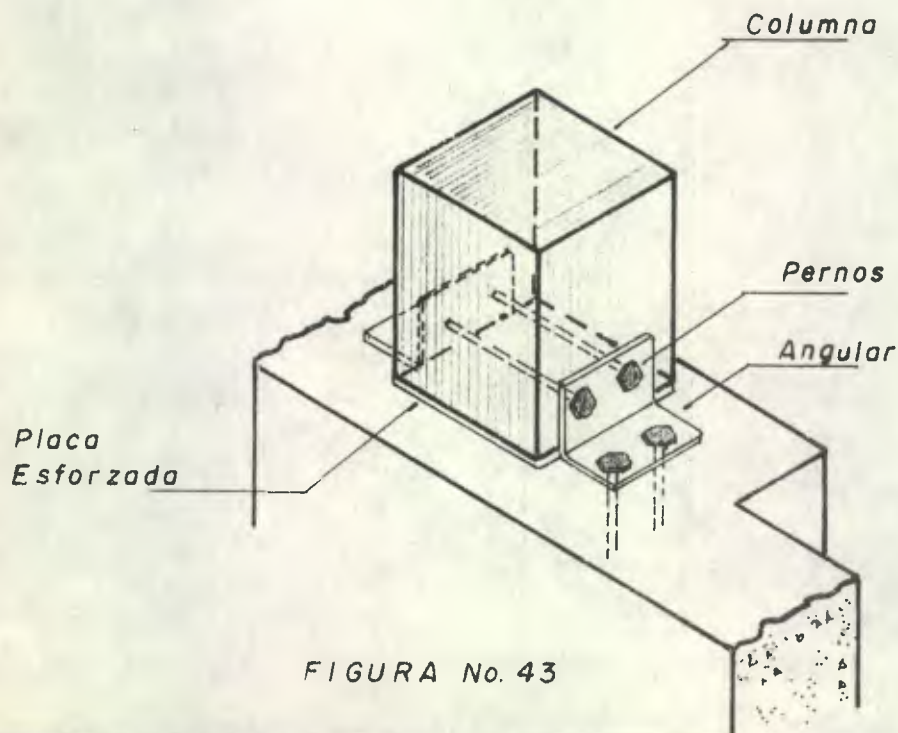


FIGURA No. 43

FIGURA No.42

Anclaje con "U" metálica para base de concreto.  
to.

FIGURA No. 43

Anclaje con angulares para base de concreto.  
Es recomendable para edificios industriales y  
bodegas. Resiste tanto fuerzas horizontales  
como verticales. Se recomiendan las placas  
esforzadas y barrera contra la humedad.-



## ANCLAJES DE ARCOS

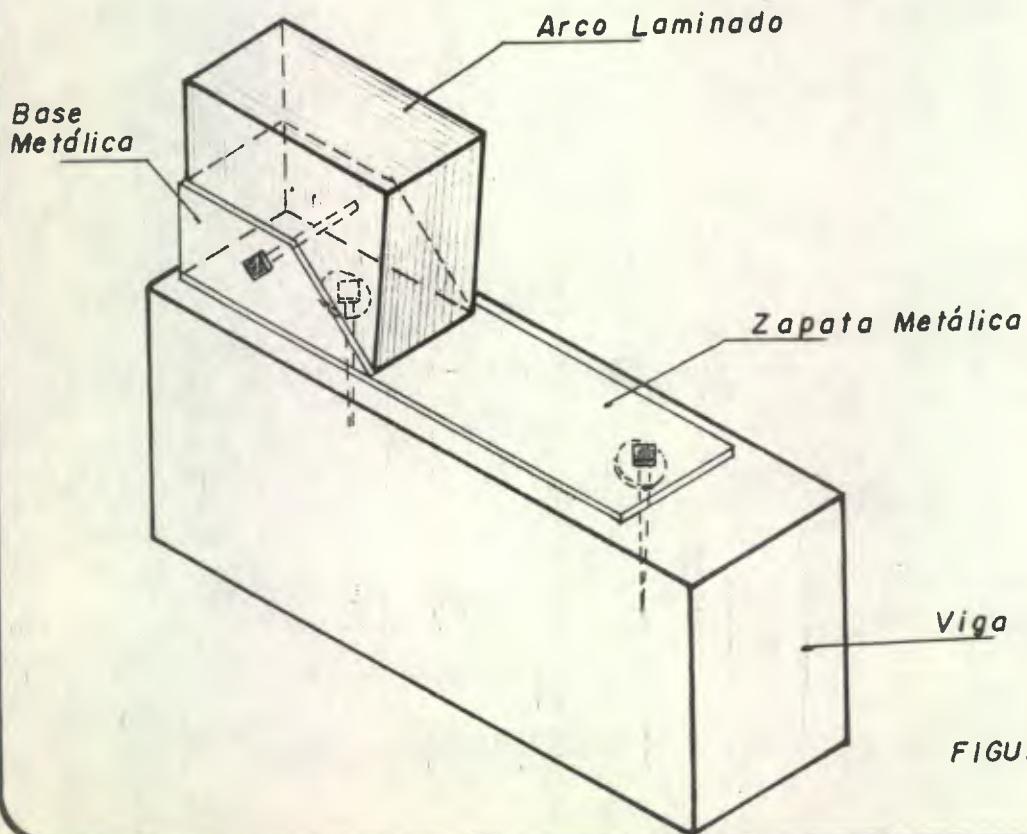
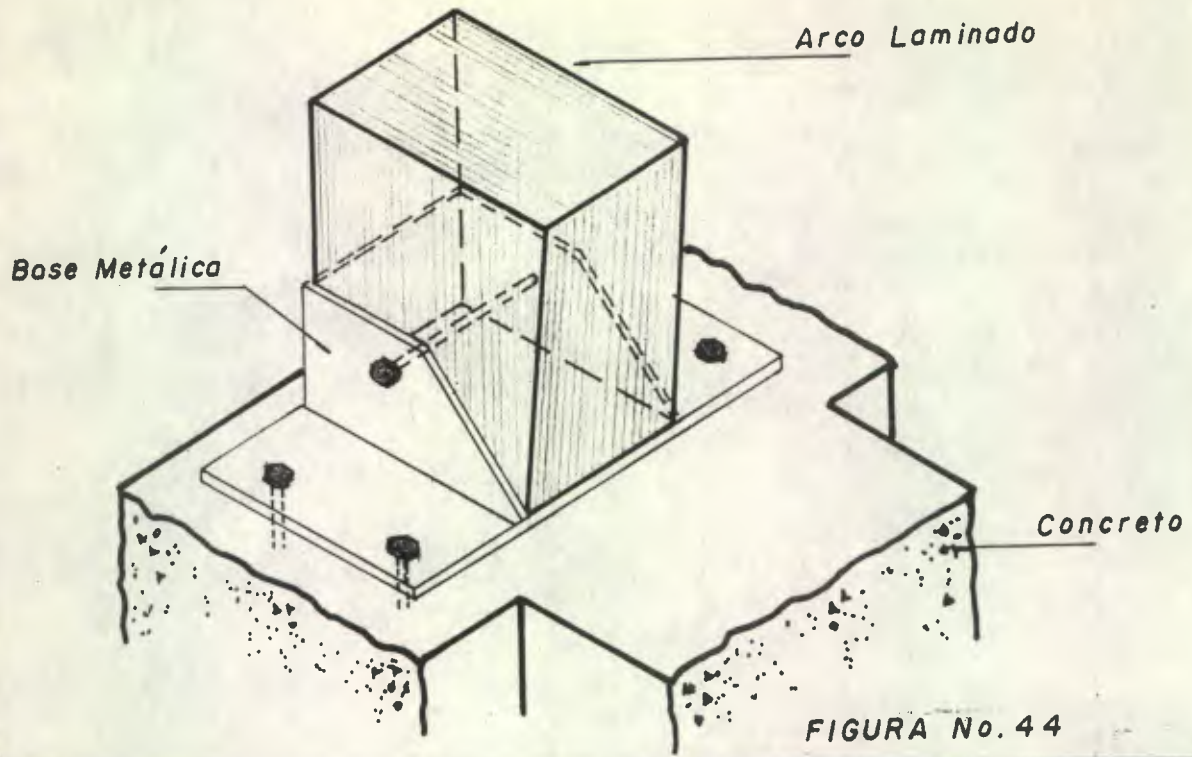


FIGURA No. 44

Anclaje con base metálica y con pernos ocultos el empuje es transmitido por los pernos al anclaje hacia el concreto. →

FIGURA No. 45

Anclaje de Arco Sobre Vigas de Cimentación.

Cargas verticales son transmitidas del arco hacia la viga de cimentación, las reacciones verticales son absorbidas por las pernos y zapata metálica hacia la viga principal de cimentación.

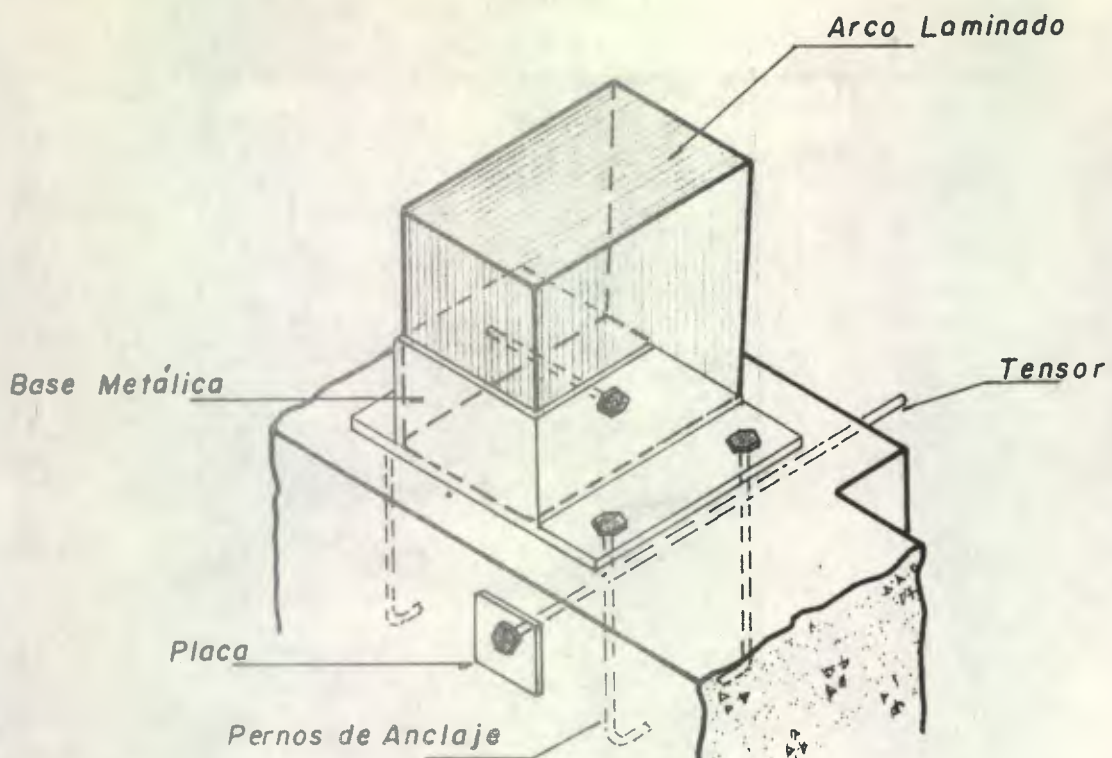


FIGURA No. 46

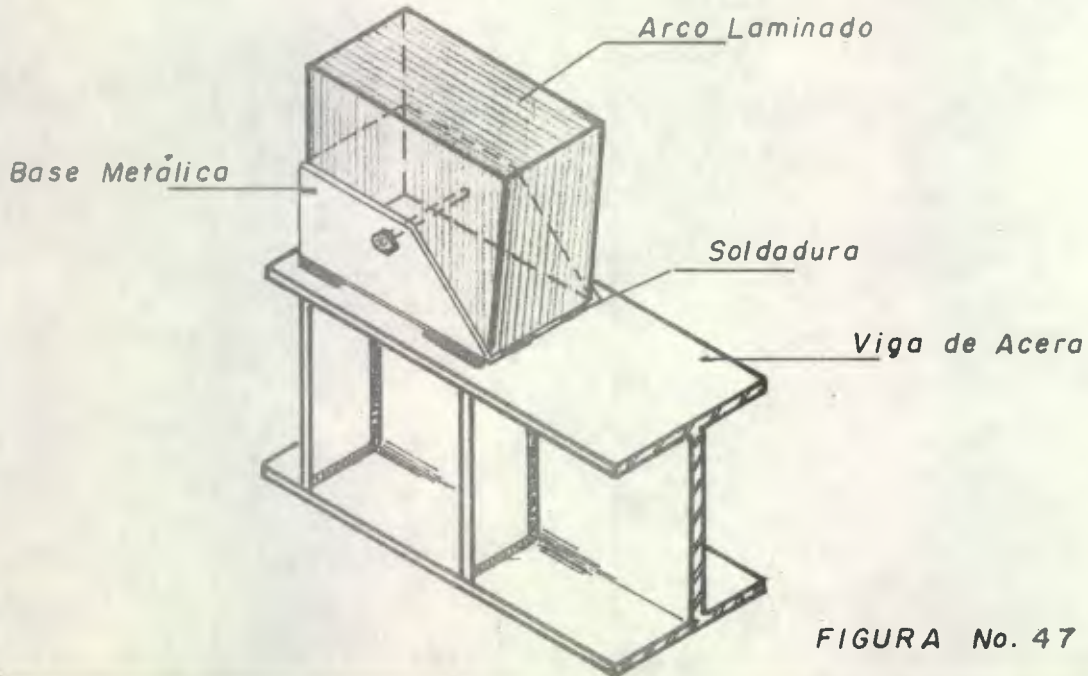


FIGURA No. 47

FIGURA No. 46

Anclaje con tensor dentro de la base de concreto. El empuje es absorbido por corte por los pernos de anclaje y transmitido a la cimentación por el ten sor.-

FIGURA No. 47

Anclaje de arco en viga de acero. Las fuerzas verticales y los empujes son transmitidos por las soldaduras hacia la viga.-

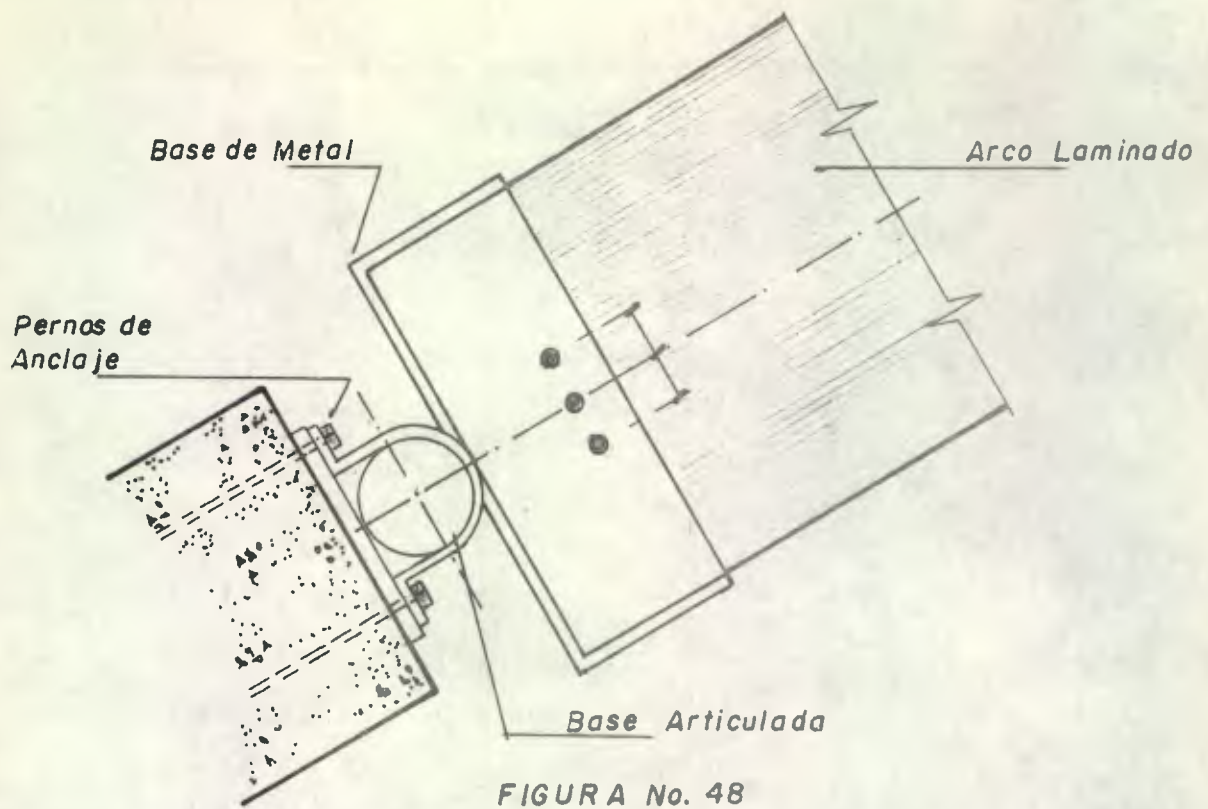


FIGURA No. 48

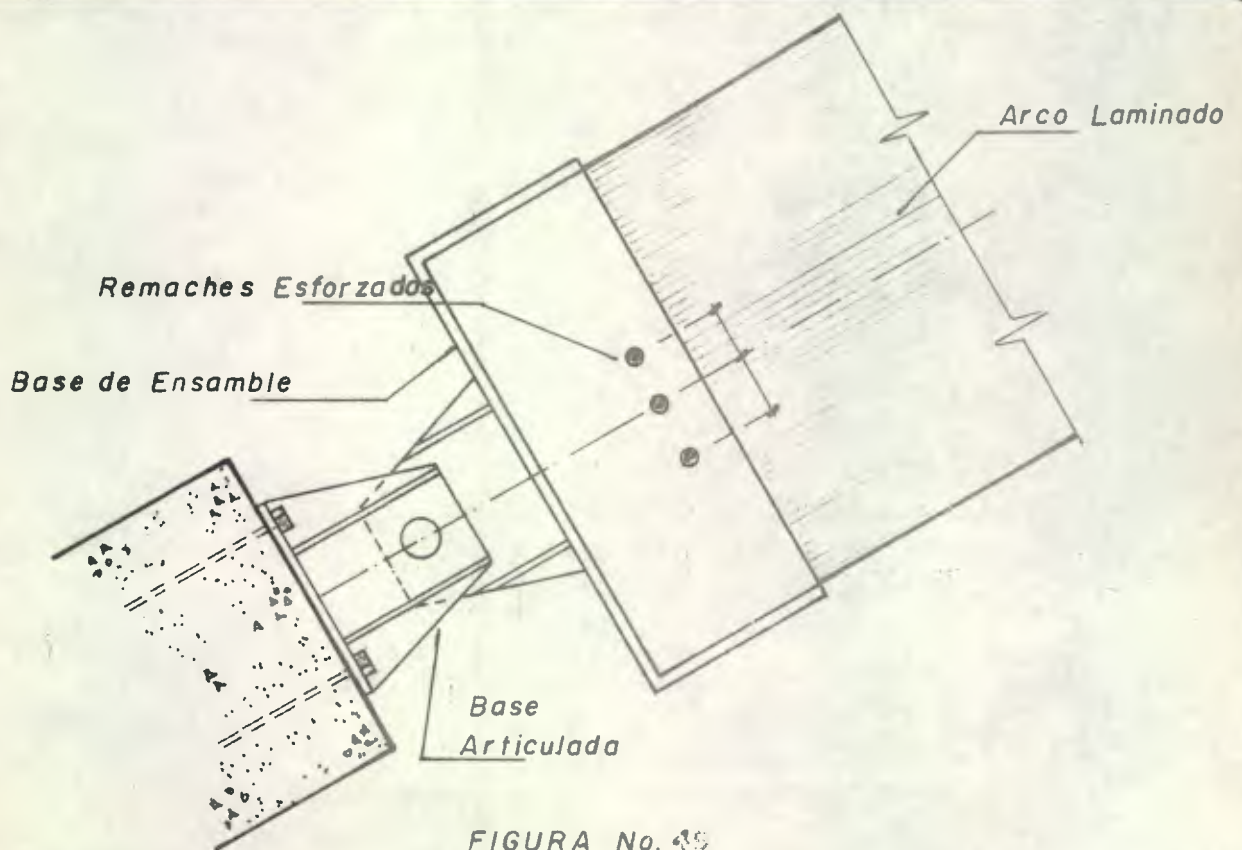


FIGURA No. 49

FIGURA No. 48

Anclajes para arcos con Articulación

Este tipo de detalle es recomendable en arcos en donde se desea una acción de articulación real.

FIGURA No. 49

Anclaje articulado para arcos. Se recomienda cuando se necesita acción de giro. El arco se une mediante remaches esforzados a la base metálica de ensamble.-

CONEXIONES EN LA CUMBRERA

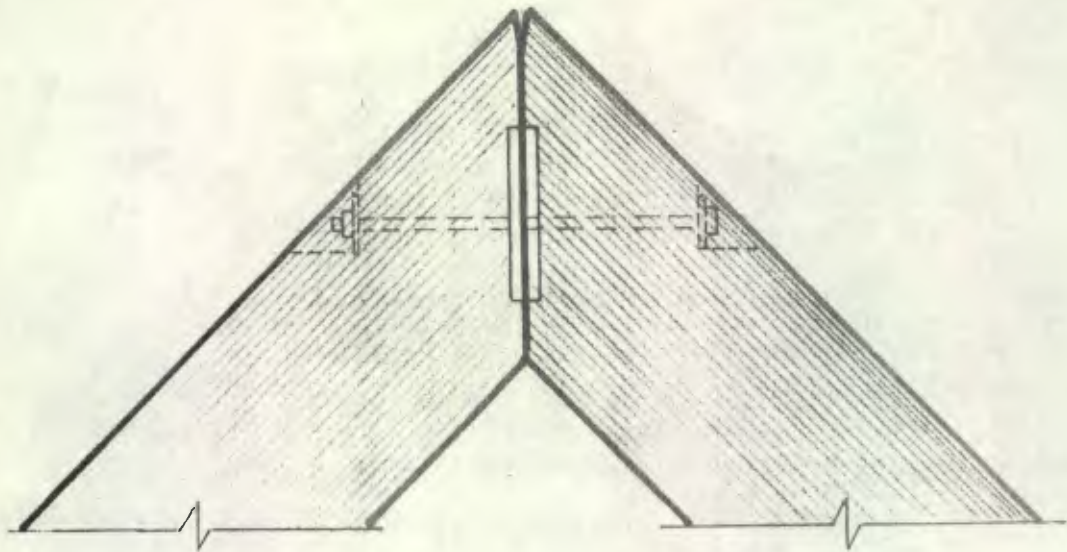


FIGURA No. 50

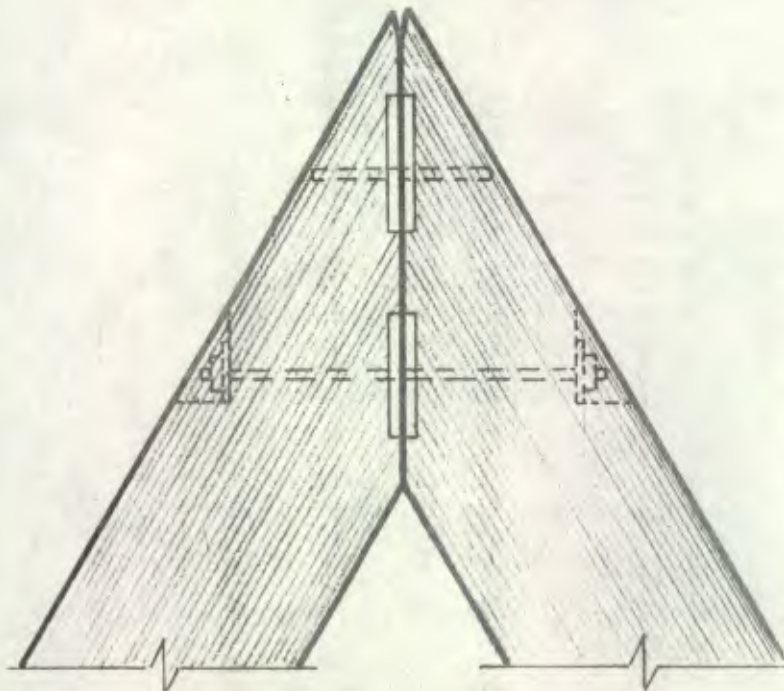


FIGURA No. 51

FIGURA No. 50

Cumbrera de arco. Esta conexión transfiere-- tanto las fuerzas horizontales como las verticales consiste en dos placas metálicas unidas entre sí y aseguradas a ambas patas del arco con pernos o varillas con soldanas ensanchadas. Las puntas de la cumbrera generalmente son achaflanadas para evitar que se astillen ante la acción de la deflexión.-

FIGURA No. 51

Cumbrera de arco. Cuando un sólo par de placas no es suficiente para soportar el corte vertical o si el peralte es muy grande, pueden usarse - otras placas extras siguiendo el mismo detalle -- constructivo.-



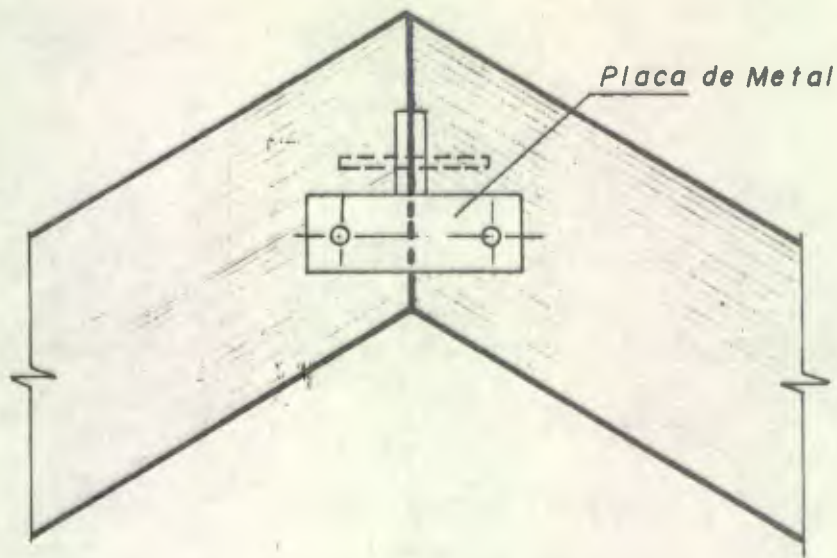


FIGURA No. 52

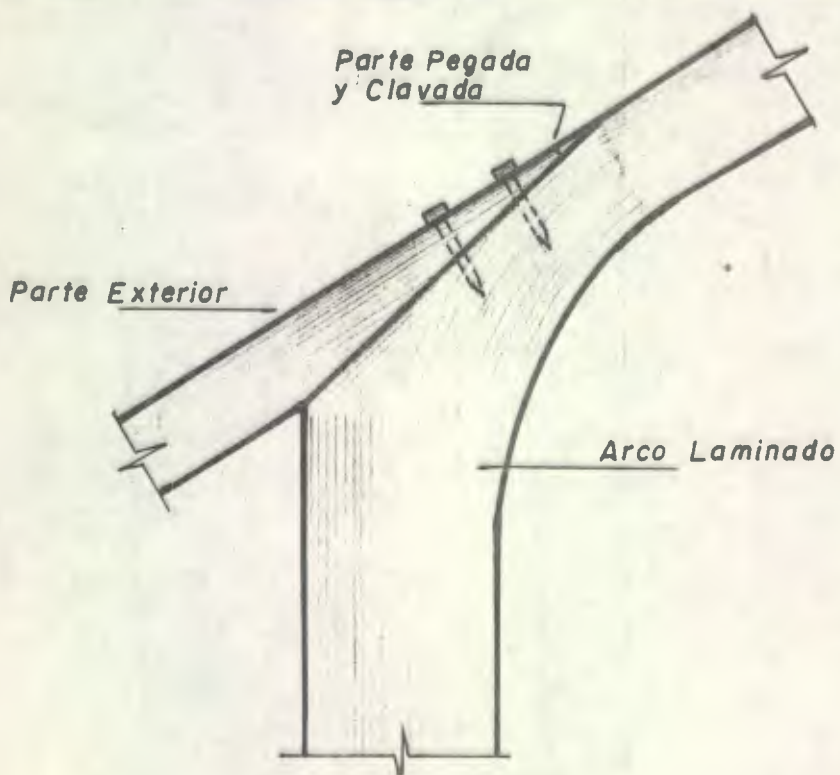


FIGURA No. 53

FIGURA N<sup>o</sup>. 52

Cumbrera de arco. Se utilizan dos placas a -  
corte unidas entre sí y alineadas con una varilla.

Dichas placas se unen también a las dos zapa-  
tas del arco por medio de pernos. Cuando la apa--  
riencia es importante, una placa curva puede colo-  
carse en el tope del arco y asegurarse con torni--  
llos.-

FIGURA No. 53

Conexiones Exteriores para Arcos Curvos.

Los pernos usados en esta conexión deberán de ser  
lo suficientemente resistentes, sobre todo en la sec-  
ción principal del arco designada para resistir cual  
quier voladizo. Cuando se aplican cubiertas debe-  
rán de usarse tornillos de anclaje.

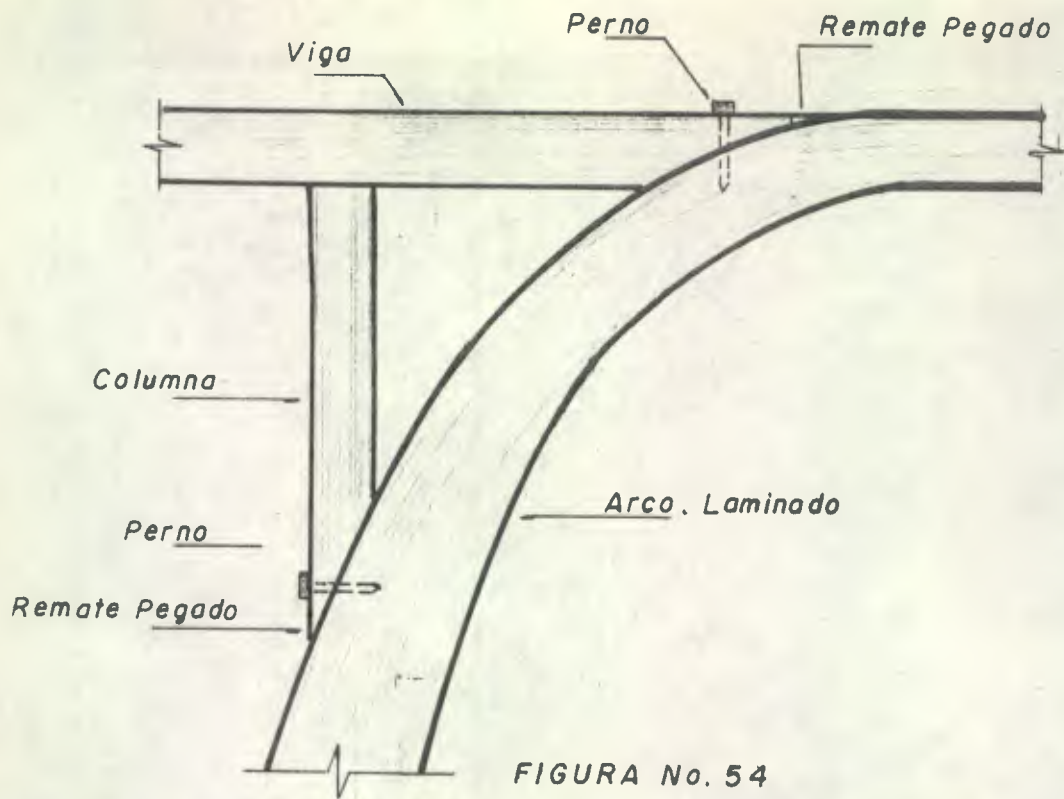


FIGURA No. 54

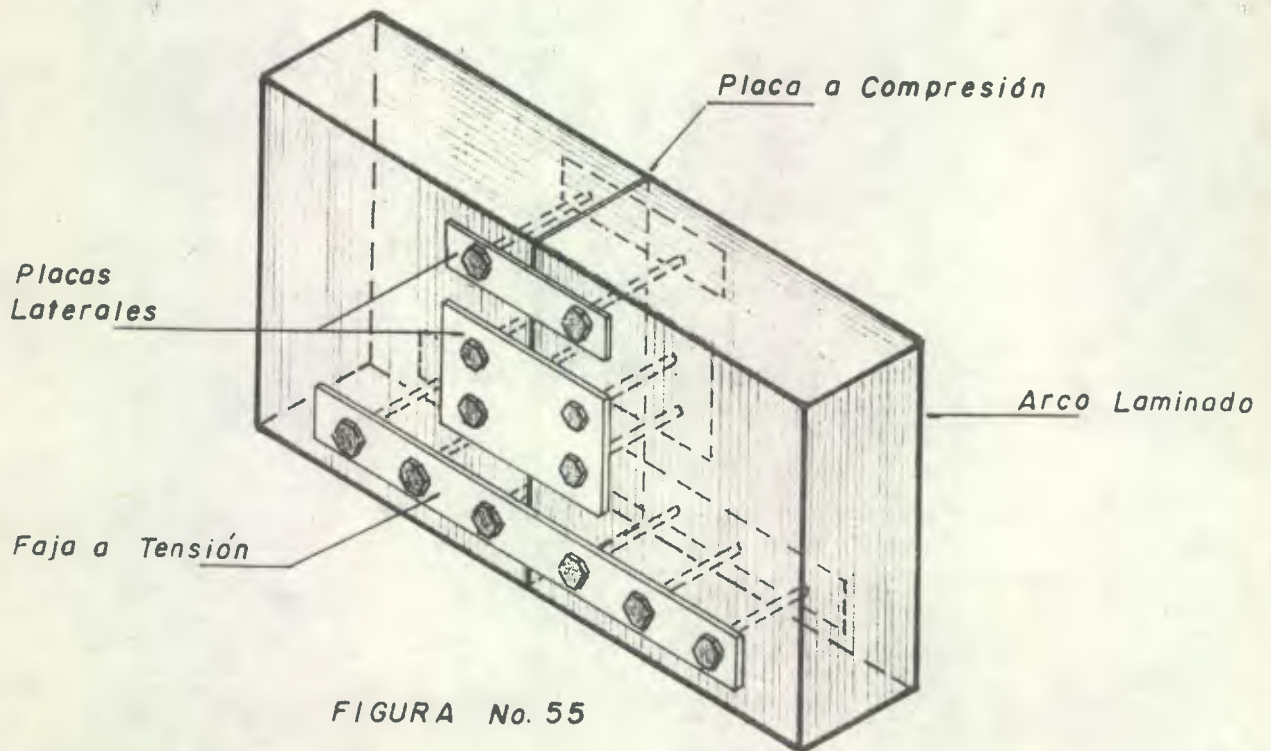


FIGURA No. 55

FIGURA No. 54

Conexión por medio de breizas para arcos. Las terminaciones de la columna y la breiza deben quedar integradas a la superficie del arco.-

FIGURA No. 55

Placas de empalme. Los esfuerzos de compresión son absorbidos por la placa a compresión. La tensión es absorbida a través del empalme por medio de las fajas metálicas y por las placas a corte. Las placas laterales y las fajas metálicas sostienen los lados y los topes de los miembros en la posición original.

Los esfuerzos cortantes son absorbidos por las placas a corte en el final de las fibras. Los pernos y las placas a corte son construídos de acuerdo a normas específicas de diseño.-

## SISTEMAS CONSTRUC. DE MADER LAM.

Panel de Plywood con Membranas Esforzadas

Membranas de Plywood

Viga Laminada

Vigueta Transversal

Vigueta Longitudinal

FIGURA No. 56

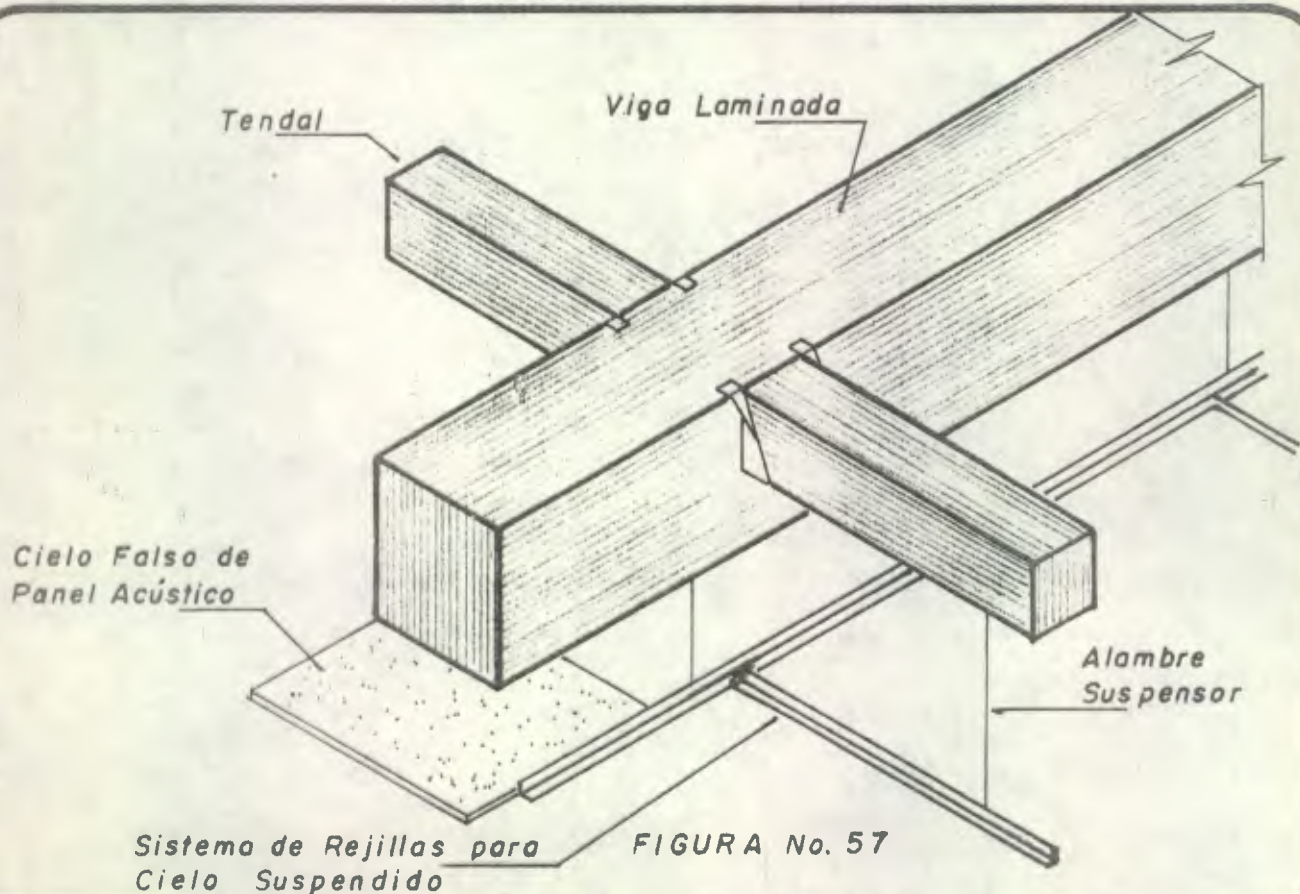


FIGURA No. 56

Paneles con membranas esforzadas sobre un sistema de vigas laminadas. Estos paneles que cubren una luz de 12 a 32 pies, están unidos directamente a las vigas laminadas principales por medio de tornillos o por clavos estriados. Los paneles están formados por membranas esforzadas de plywood pegadas a los miembros longitudinales, lo cual hace que el panel trabaje como una unidad estructural simple. Las viguetas transversales se colocan entre las longitudinales en los bordes del panel.-

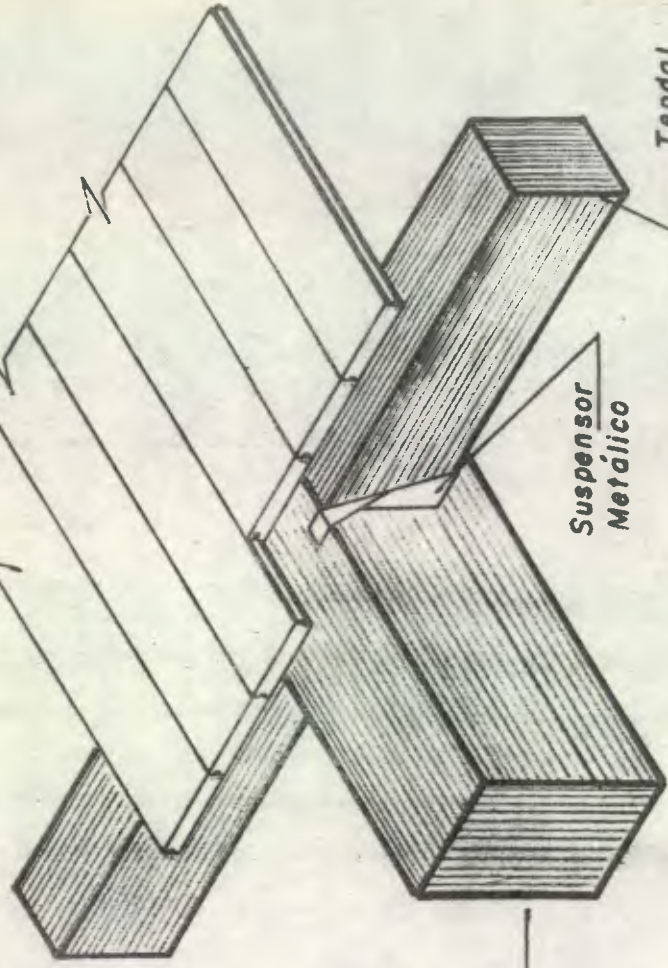
FIGURA No. 57

Sistema de Cielo Suspendido.

El cielo suspendido que consiste de una rejilla soportada por clips o alambres suspensoros puede ser fácilmente instalado en un sistema de vigas laminadas.

La rejilla tiene normalmente varillas principales con una separación de 48" y varillas transversales a 24", la cual permite la colocación de los paneles acústicos de 2'x 4'. Este sistema proporciona espacio oculto para las instalaciones y ductos.-

Cubierta de 2" de ancho



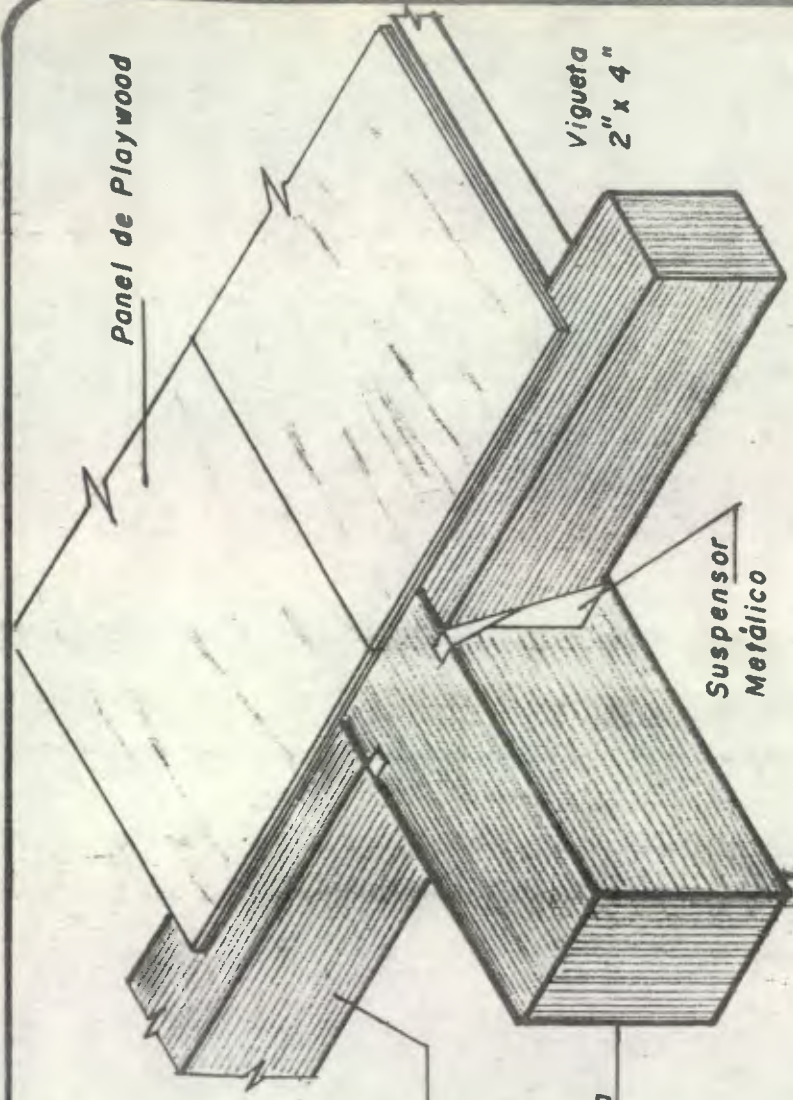
Viga Laminada

Suspensor  
Metálico

Tendal

FIGURA No. 58

Panel de Plywood



Tendal

Viga Laminada

Suspensor  
Metálico

Vigueta  
2" x 4"

FIGURA No. 59

FIGURA No. 58

Cubierta de madera de dos (2) pulgadas sobre un sistema de viga laminada y tendales.

La cubierta de un espesor nominal de 2" esta -- clavada directamente a tendales laminados o sólidos, éstos tienen separación típica de 8' (pies) y están conectados a la viga principal por suspensores metálicos.-

FIGURA No. 59

Paneles de plywood sobre un sistema de vigas laminadas y tendales. Los paneles prefabricados que cubren una luz de 8 a 12 pies, están sujetos a tendales de madera espaciados a 8 pies. Estos paneles están normalmente formados por hojas de plywood unidas a viguetas separadas a 24 pulgadas. Los paneles pueden ser ensamblados en el lugar o adquirirse ya armados. Los enclajes colocados al final de las viguetas sirven para asegurar los paneles a los tendales, las dimensiones de los paneles prefabricados son normalmente de 4' x 8'.-



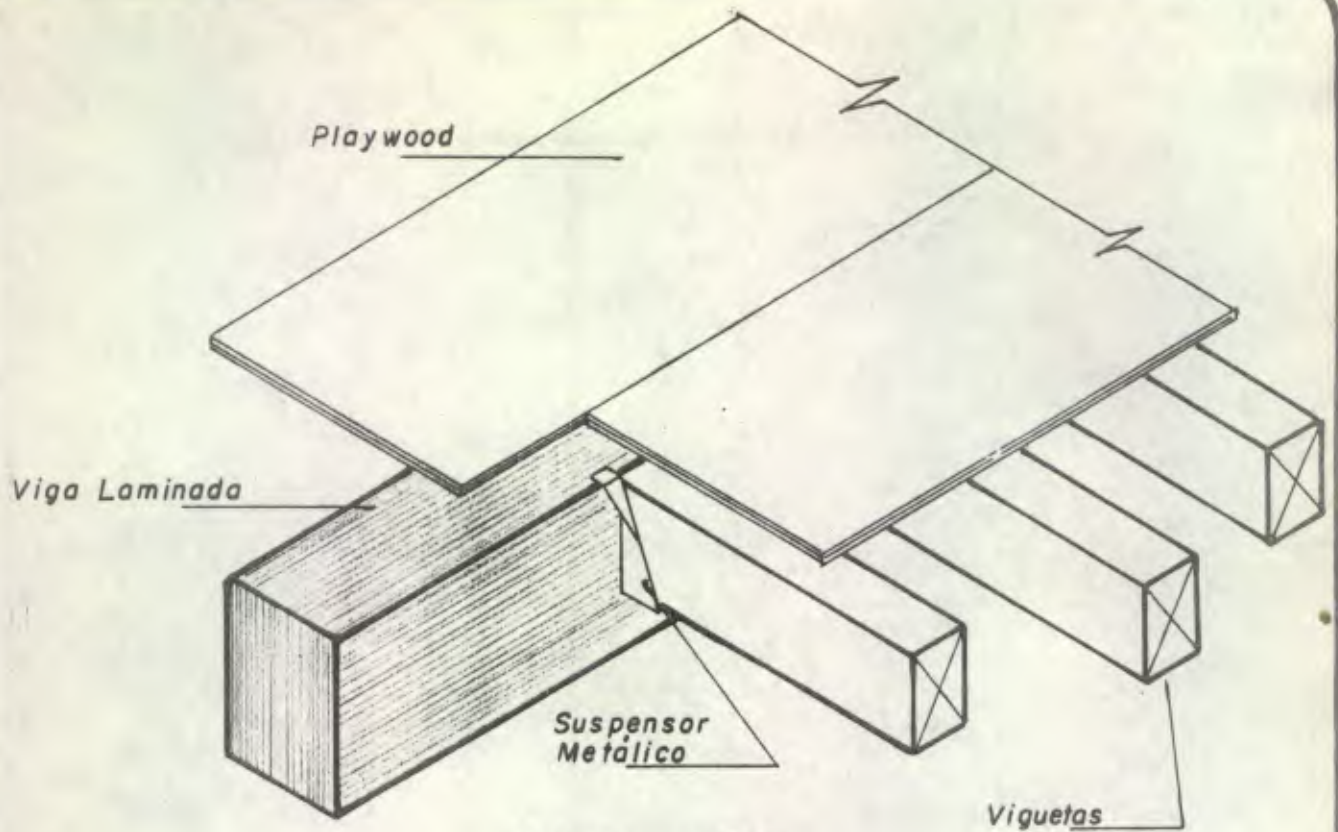


FIGURA No. 60

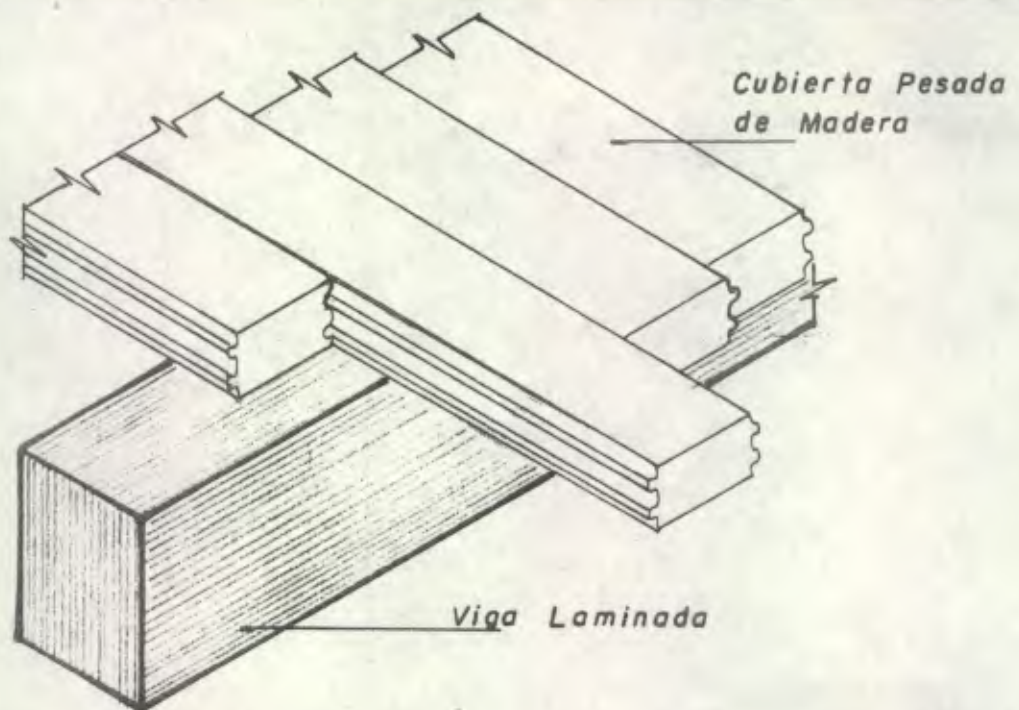


FIGURA No. 61

FIGURA No. 60

Láminas de plywood sobre un sistema de vigas laminadas y tendales. El plywood es directamente pegado a viguetas de madera separadas normalmente a 16" ó 24". Puede usarse plywood de 3/8" a 3/4" de espesor.

Las viguetas están unidas a la viga principal -- por medio de suspensores metálicos. Cuando se utilizan uniones apropiadas y se siguen las normas adecuadas de construcción, estos sistemas pueden ser diseñados para soportar fuerzas laterales.-

FIGURA No. 61

Cubierta pesada de madera sobre un sistema de vigas laminadas. La cubierta de madera que puede ser laminada o sólida, de un espesor nominal de 3" ó 4", es elevada directamente a las vigas laminadas principales. La luz más económica para este tipo de cubierta es de 8 a 20 pies, dependiendo del espesor y de las condiciones de carga.-

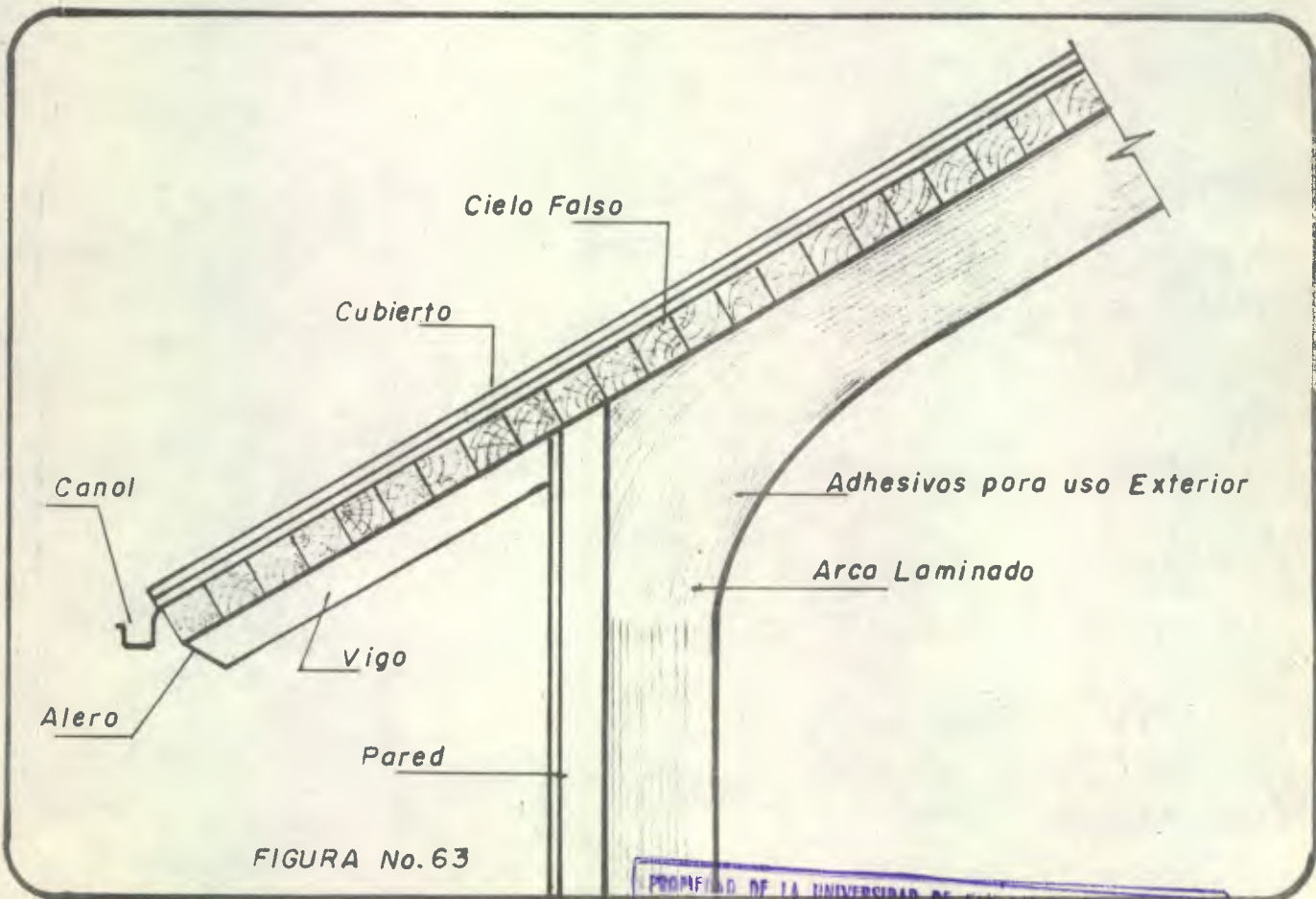
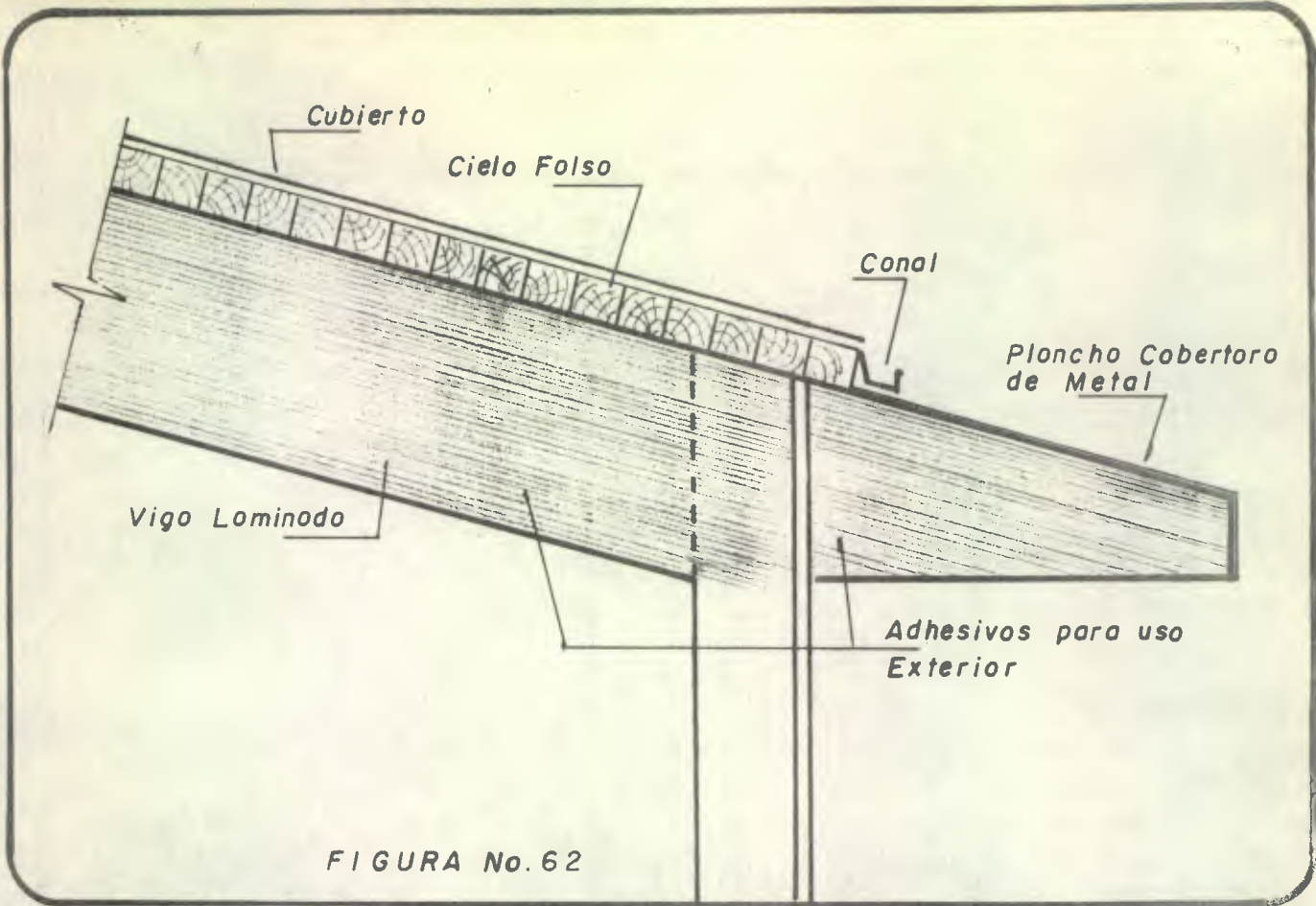


FIGURA No. 62

Consideraciones para protección de construcciones con aleros descubiertos.-

La protección de la viga que se extienda afuera de la cubierta debe ser protegida por una plancha de metal y pintada regularmente para protegerla de los elementos exteriores. En la fabricación de la parte de la viga laminada que queda descubierta deben usarse adhesivos a prueba de agua.-

FIGURA No. 63

Consideraciones para protección de arcos con alero el alero debe estar protegido de los elementos exteriores, pueden usarse adhesivos para uso interior, tanto en el alero como en el arco.-

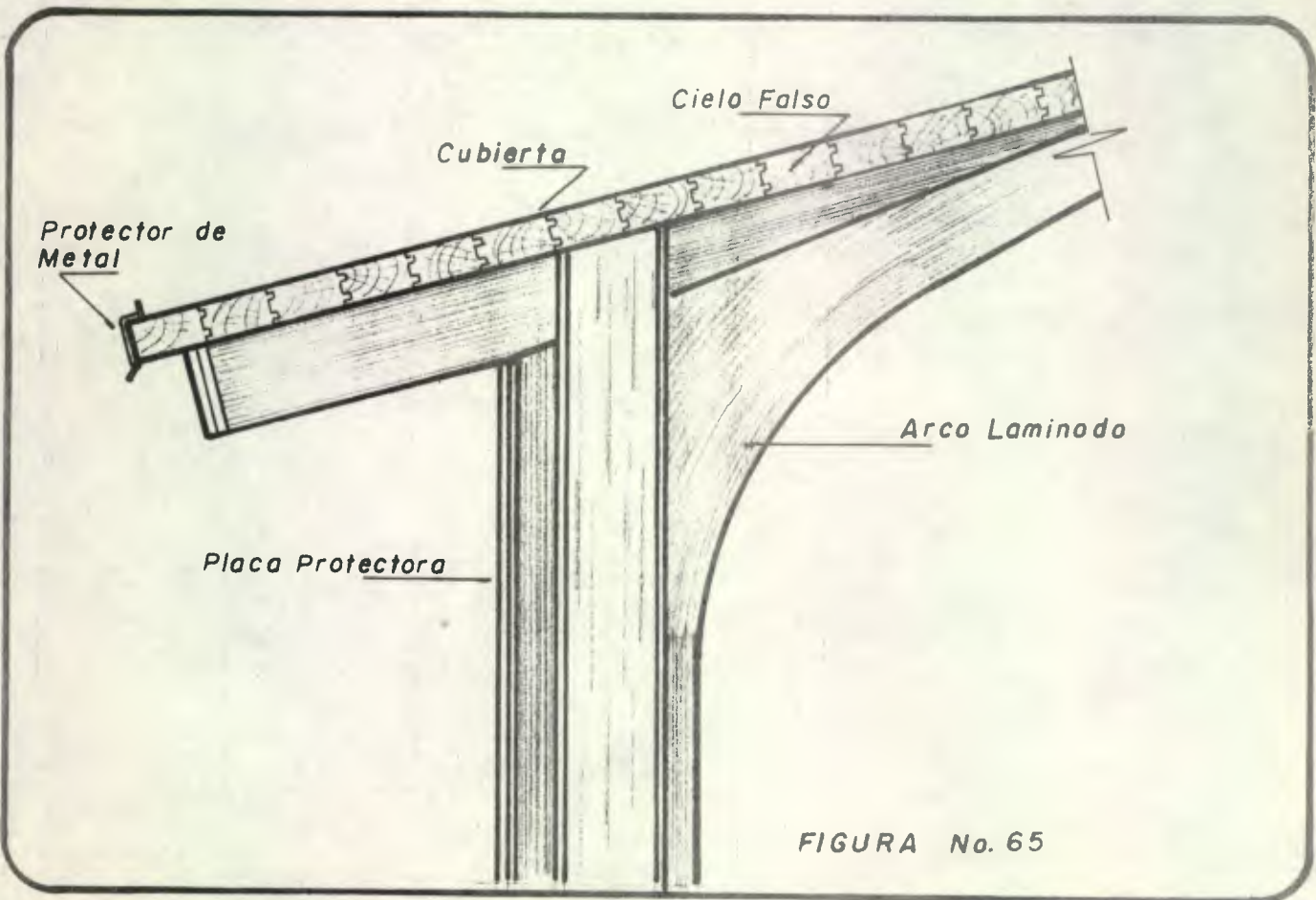
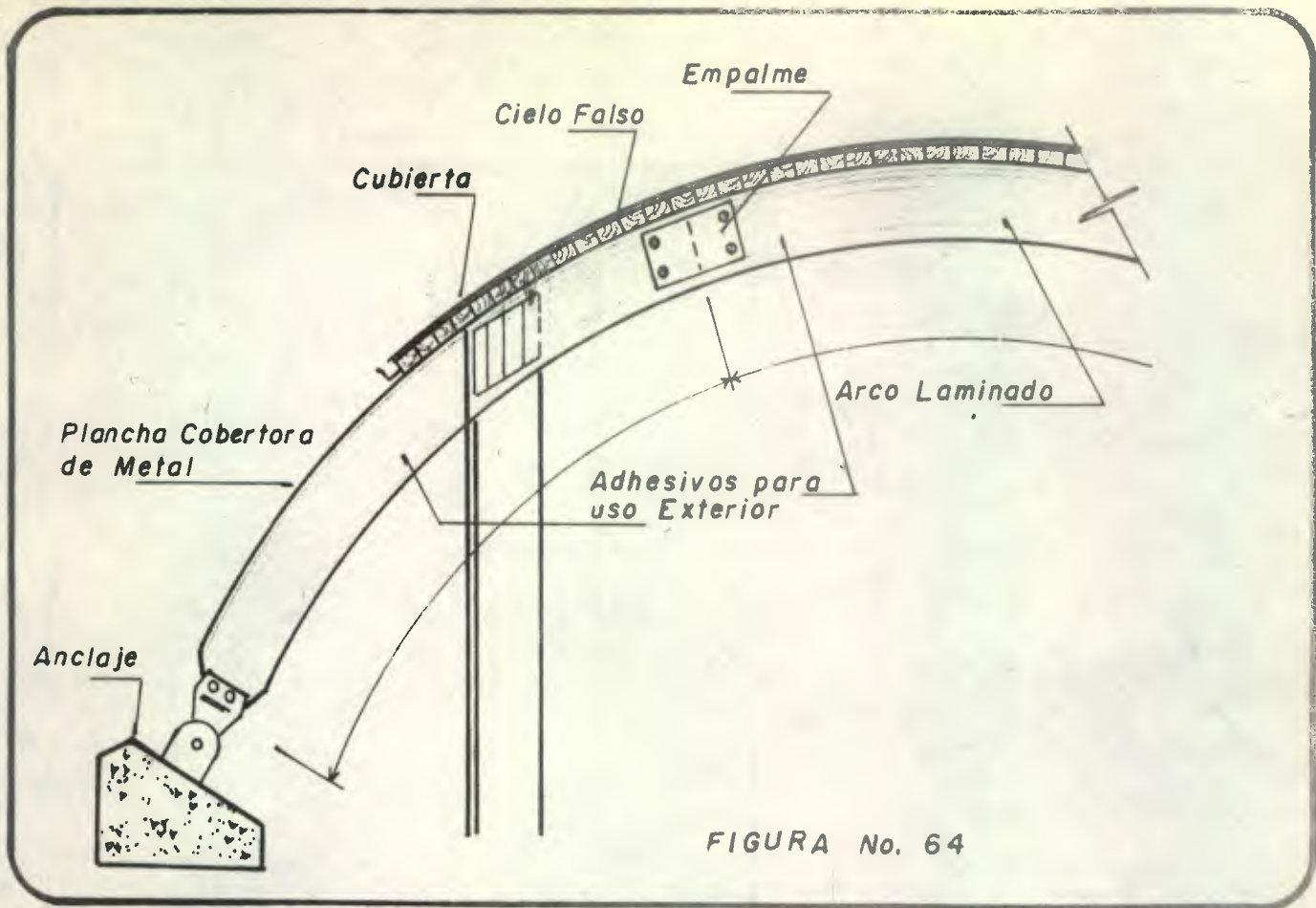


FIGURA No. 64

Consideraciones para protección de arcos parcialmente expuestos. La porción de arco que se extiende más allá de la construcción cubierta, se protegerá con una plancha metálica y debe tratarse con preservativos. Además se deben usar adhesivos para uso exterior en esa porción descubierta. El anclaje se funde con cemento bituminoso. Entre la articulación del arco y el suelo deben dejarse por lo menos 12 pulgadas.-

FIGURA No. 65

Protección para parte exterior de arcos.

Protectores de metal deberán de ser usados en las orillas exteriores del arco en forma vertical, juntamente con tornillos resistentes a diversas situaciones climatológicas (Toda madera usada en exteriores deberá de ser adecuadamente tratada y brindársele el respectivo mantenimiento). Cuando los voladizos no protejen el pie del arco de la humedad deberán de usarse cascos de metal recubiertos con pinturas anticorrosivas.

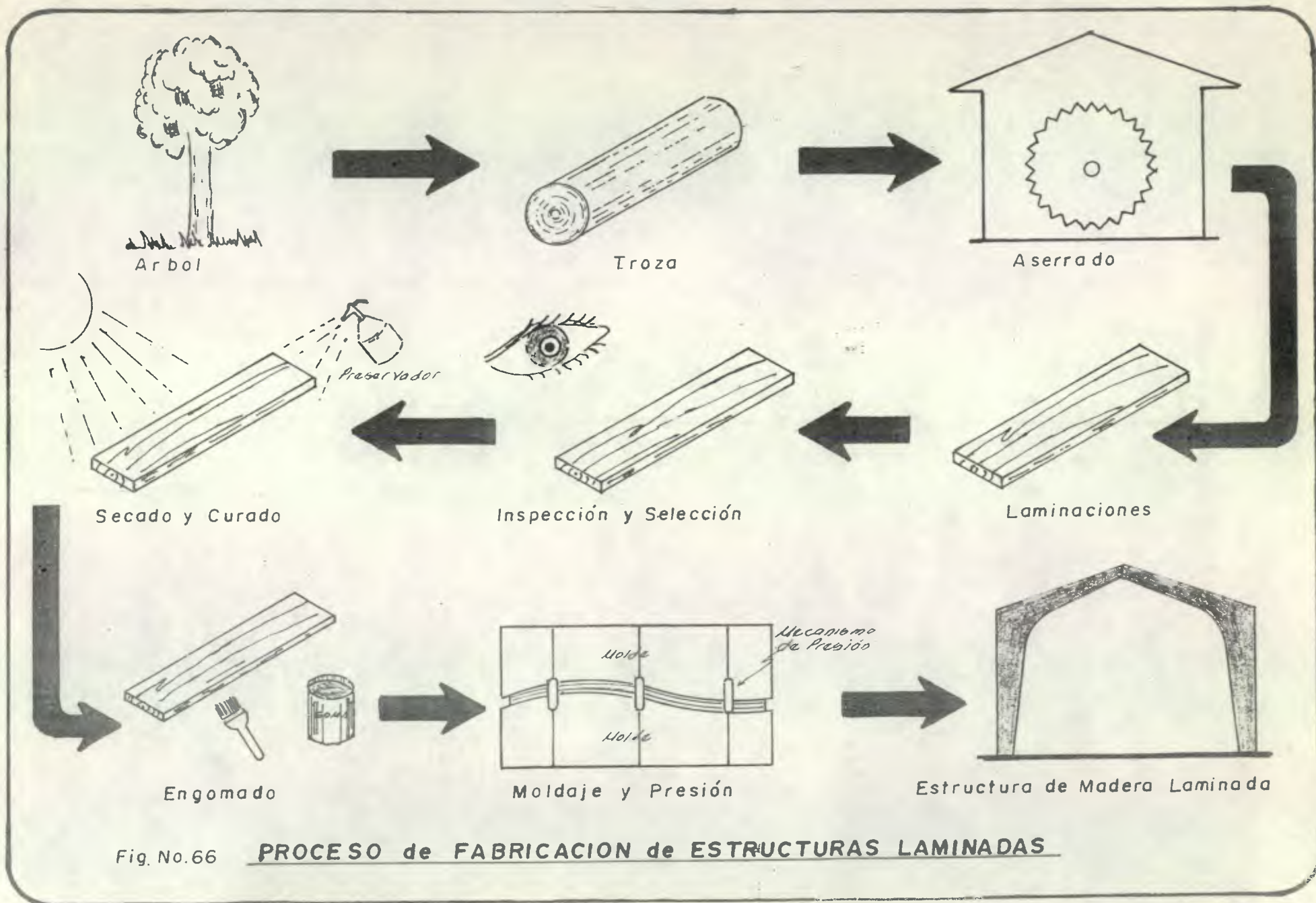


Fig. No.66 PROCESO de FABRICACION de ESTRUCTURAS LAMINADAS

CAPITULO No. VII



7. CAPITULO No. VII

7.1 CONSIDERACIONES PARA LA EXPLOTACION DEMADERA LAMINADA EN GUATEMALA

Habiendo partido de la hipótesis que Guatemala es un país con amplia riqueza forestal, se hace necesario analizar este aspecto y tomar en cuenta las consideraciones sobre existencia forestal y el grado de deforestación en el país, para así conocer las posibilidades reales de la explotación maderera, la cual es necesaria para la implantación de plantas de fabricación de estructuras de Madera Laminada Pegada en Guatemala.

Así pues se tiene conocimiento que el área forestal en el país es de 43,700 Km.<sup>2</sup> de los cuales las especies de hoja ancha ocupan 35,600 Km.<sup>2</sup> y las coníferas 8,100 Km.<sup>2</sup>

7.1.1 Factores que Influyen sobre los Bosques

Tanto para el desarrollo de un bosque como para su desaparición es importante y necesario conocer los factores que de una u otra forma influyen sobre ellos.

Entre estos factores se mencionan como los más importantes los siguientes:

-Topografía,-Clima,-Suelos y -Factores Bióticos

7.1.1.1 Topografía

La topografía de los terrenos de Guatemala es muy accidentada y varía según sus regiones fisiográficas.

7.1.1.2 Clima

El clima juega un papel decisivo en la formación y características de la vegetación de una determinada región, el clima de Guatemala es muy apto para la formación de bosques y debido a esto es que el país fué cubierto periódicamente por bosques, los que han sido disminuidos por la acción volcánica y por el hombre.

El clima también influye negativamente en áreas deforestadas tanto por las precipitaciones como por la acción de los vientos.

### 7.1.1.3 Suelos

En la república de Guatemala existe una enorme variedad de suelos, que varían por su estructura, profundidad, drenaje y susceptibilidad a la erosión y que se pueden clasificar en - suelos desarrollados sobre ceniza volcánica, sobre roca y -- los desarrollados sobre depósitos marinos.

### 7.1.1.4 Factores Bióticos

Entre los factores bióticos cabe mencionar la fauna, crecimiento demográfico, los incendios y las plagas forestales.

Sobre este aspecto el más importante es el crecimiento - demográfico, el cual tiene incidencia directa sobre la disminución de los bosques. El hombre es el mayor destructor de - las áreas boscosas y agregado a esto que el país no tiene una política forestal bien definida el problema se agrava más.

Los bosques de Guatemala han tenido muchas alteraciones en relación directa con la densidad de población, desde el si glo XIX los bosques se encuentran en constante disminución y dicho proceso acelera cada vez más y en forma más alarmante.

Las áreas boscosas actuales tanto de coníferas como de - especies de hoja ancha se estiman en 151,109 millones de me-- tros cúbicos.

### 7.1.2 Aspectos que Inciden sobre el Ritmo de Deforestación

Se estima que la ta anual de la madera para usos in-- dustriales es de  $1/2$  millón de metros<sup>3</sup> a esto hay que agregar el consumo de leña que se estima en 0.84 metros<sup>3</sup> por habitante al año, además se dan otras pérdidas tal es el caso de el consumo de panaderías, caleras y minas y lo referente a incen dios y plagas (ver tabla No. 12).

El consumo actual, tiene relación directa con el creci-- miento demográfico, para las futuras demandas se han tomado - incrementos hasta 1990, de 1.3% y entre 1990 y 2000 de 1.0% (1),

A los volúmenes estimados en la actualidad de 151.109 mi-- llones de metros<sup>3</sup> se han agregado los posibles incrementos - por acciones de reforestación y se le restan las pérdidas por

(1) Factores utilizados por los técnicos de INAFOR, deducidos del incremento de la deforestación y la forestación realizadas

los factores mencionados, el resumen de los cálculos esta en el gráfico No. 3 y el cuadro No. 13.

Como puede observarse de acuerdo a los datos de la tabla No. 13 y el gráfico No. 3 la deforestación a la que se han so metido los bosques de Guatemala alcanza valores muy altos en relación a las áreas forestadas no obstante como el presente trabajo pretende constatar si es posible incrementar o mante ner la explotación actual que es de 0.50 millones de metros<sup>3</sup> de madera lo que equivale a 211.9 millones de pies-tabla anuales. En consecuencia se deduce que con la actual explota ción si es posible poner en funcionamiento una planta de fa bricación de Madera Laminada sin necesidad de incrementar la actual demanda, pues la mecánica a seguir consistiría en cap tar parte de la madera aserrada anualmente para los fines de la planta de laminados de madera.

Pero como lo explican los Ingenieros Agrónomos del Insti tuto Nacional Forestal (INAFOR) y del fomento y desarrollo del Peten (FYDEP) el problema no estriba en la explotación fores tal sino que el problema consiste en la falta de programas -- técnicos de reforestación por parte de las instituciones del gobierno encargadas de este ramo y de las empresas y compañ ías que se dedican a la explotación maderera.

### 7.1.3 Período Crítico entre la Deforestación y la Reforestación

Por ser éste un problema que atañe a todo ciudadano y so bre todo si se plantea la utilización de la madera como ele miento de explotación, se hace necesario ampliar la informa ción al respecto de la necesaria reforestación.

En consecuencia observando nuevamente el gráfico No. 3 -- nos indica el período entre 1995 y 2005 como el período críti co, este período peligroso será tanto más grave, cuanto mayor sea la desviación entre las cifras de la deforestación y las áreas reforestadas reales.

Por lo tanto se vuelve a llamar la atención en este as--

USOS	Volumen Anual M <sup>3</sup>
Madera para Fines Industriales	0.5 Millones
Leña para combustible 5 millo- nes de habitantes que usan leña como combustible 90.84	4.2 Millones
Panaderías	0.5 Millones
Caleras, Minas y Pequeña Industria	0.4 Millones
Incendios y Plagas	1.35 Millones
TOTAL	6.95 Millones de M <sup>3</sup> de madera al

Tabla No. 12

Fuente: Estimación de la Deforestación y la Reforestación Necesaria, pag. No. 10

ANO	VE millones de m <sup>3</sup>	ViC millones m <sup>3</sup>	Vi HA millones m <sup>3</sup>	Vd millones m <sup>3</sup>	VR millones m <sup>3</sup>
1985	151.109	6.43	1.251	37.683	121.107
1990	121.107	5.617	0.669	40.124	87.269
1995	87.269	4.728	0.108	42.204	49.901
2000	49.901	2.436	0.000	44.356	7.981
2001	7.981	0.050	0.000	9.14	-1.109

TABLA · No.13

FUENTE: Estimación de la Deforestación y la Reforestación ( INAFOR )

SIMBOLOGIA

VE= Volumen Existente

ViHA= Volumen de Incremento de las  
especies de hoja ancha.

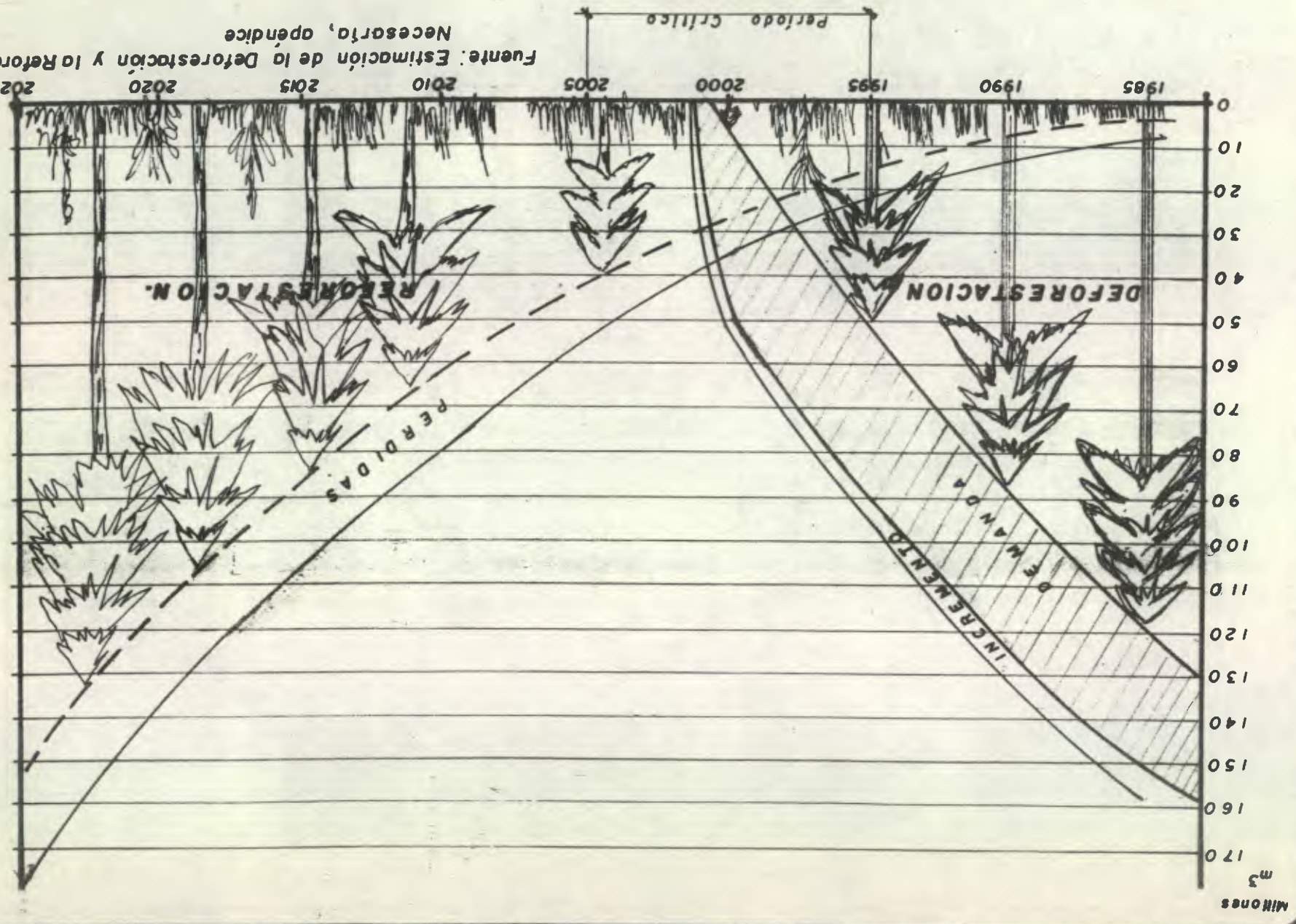
VR= Volumen Restante

ViC= Volumen de Incremento de las  
Coníferas.

Vd = Volumen de la Demanda

136  
GRAFICA No.3

Fuente: Estimación de la Deforestación y la Reforestación Necesaria, apéndice  
2025 Años  
2020  
2015  
2010  
2005  
2000  
1995  
1990  
1985



pecto y sobre el tamaño necesario de las áreas requeridas anualmente para la reforestación, el período crítico en mención nos debe advertir para tomar acciones impostergables.

Con el creciente peligro por el incumplimiento de las reforestaciones necesarias se genera no sólo el peligro en la interrupción con el abastecimiento de las necesidades nacionales en la demanda futura de madera si no se expondrán también al peligro, el abastecimiento de agua de las ciudades y las áreas urbanas, conduciendo a los suelos y áreas agrícolas a su paulatina destrucción.

## 7.2 Comparación de la Madera Laminada y la Madera Sólida

7.2.1 La madera Laminada es recomendable y adecuada para luces mayores de 20' y para luces inferiores es más favorable el empleo de Madera Sólida.

7.2.2 La Madera Laminada permite miembros que no estén limitados en su luz por el tamaño del árbol, lo cual no es posible con Madera Sólida.

7.2.3 La Madera Laminada permite un mayor aprovechamiento de maderas de bajo y alto grado estructural, utilizando en la parte central las maderas de grado más bajo sin afectar al miembro en su conjunto y en la parte exterior la madera de mayor grado estructural, la madera sólida sería desechada por no tener el grado estructural.

7.2.4 En las laminaciones se pueden emplear árboles pequeños ya que el miembro se forma por adición de láminas, los árboles pequeños no son utilizables en estructuras de Madera Sólida.

7.2.5 Se pueden obtener excelentes efectos arquitectónicos con el empleo de las innumerables formas que se pueden obtener con Madera Laminada, con Madera Sólida saldría muy costoso lograr los mismos efectos.

7.2.6 La Madera Laminada requiere equipo especial para el curado, moldeaje, pegado y transporte lo que incurre en gasto extra lo cual no sucede con la Madera Sólida.

### 7.3 CONCLUSIONES

7.3.1 La madera es uno de los materiales más utilizados en la construcción y de bajo costo en comparación con materiales importados.

7.3.2 Como se pudo comprobar por medio de la tabla No. 13 e--xisten a la fecha suficientes recursos forestales como para --la introducción de una planta de fabricación de estructuras --de Madera Laminada, lo cual a su vez confirma la hipótesis --planteada.

7.3.3 Por estar constituidos los miembros laminados de piezas pequeñas, éstas se eligen totalmente sanas y con el contenido de humedad óptimo con relación al lugar en donde se habrá de usar.

7.3.4 Se logran resistencias mayores a esfuerzos de compre---sión, tensión y corte que los obtenidos con madera sólida.

7.3.5 Tal como se expone en la hipótesis las estructuras de --Madera Laminada son eficaces para cubrir luces mayores de 20' lo que se demuestra con el tipo de vigas y arcos utilizados, los que estan compuestos por secciones más grandes que las --que puede brindar un miembro de madera sólida.

7.3.6 La Madera Laminada presenta alta resistencia al fuego, por el proceso de selección y curación a que es sometida cada una de las láminas, así como por tener las estructuras seccio--nes grandes.

7.3.7 Por lo analizado en el capítulo IV, se concluye que los pegamentos empleados son de calidad tal que superan la resis--tencia de la madera utilizada

7.3.8 La conclusión que se desprende del capítulo No. VII, --gráfica No. 3 es que para seguir explotando la madera en Gua--temala es necesario implementar programas periódicos y masi--vos de forestación.

7.3.9 El principio de la fabricación de miembros laminados implica gastos en maquinaria y equipo, lo que incide en el cos--to de las estructuras a largo plazo sería competente con las estructuras de acero.



7.3.10 Con el estudio realizado se dieron a conocer los aspectos determinantes que engloban el proceso de fabricación y posibles aplicaciones de las estructuras de Madera Laminada cumpliendo con el objetivo general planteado.

7.3.11 Finalmente se concluye que sí se ha cumplido con lo planteado en la metodología y los objetivos pues se logró elaborar el estudio que brinde información básica sobre los aspectos determinantes de las estructuras de Madera Laminada para que sea conocida por todo aquel estudiante que se interese en este tipo de sistemas constructivos.

#### 7.4 RECOMENDACIONES

7.4.1 Es recomendable clasificar la madera a emplearse en las láminas de un miembro en particular que tengan los anillos de crecimiento anual inclinados a menos de  $45^{\circ}$  con relación a la cara ancha.

7.4.2 Se recomienda utilizar solamente pegamentos que sean capaces de proporcionar la resistencia necesaria bajo las condiciones de servicio y durante la existencia útil de la estructura.

7.4.3 En las vigas compuestas por diversos tipos de madera es recomendable, que la madera de más alta calidad se coloque en las caras exteriores (1/6 del peralte en ambos extremos de la sección transversal). En los 2/3 centrales pueden utilizarse laminaciones de menor calidad estructural.

7.4.4 Durante el proceso de curado, mantener el contenido de humedad en 16% como máximo.

7.4.5 Cualquier miembro formado por laminaciones colocadas con empalmes oblicuos, será diseñada como si se tratara de un miembro de una sola pieza.

7.4.6 Cuando se coloquen láminas sobre piezas de sección variable la inclinación de las caras en la sección no debe exceder de 1 a 12.

7.4.7 Para poder mantener vigente la hipótesis en cuanto a la riqueza forestal es recomendable que antes de incrementar la explotación maderera se realicen labores de forestación masi-

va con especies de hoja ancha, coníferas y sobre todo con árboles de crecimiento rápido.

7.4.8 Se recomienda implementar estudios acerca de las maderas nacionales, así como capacitar personal en este ramo lo cual redundaría en beneficios para la población del país brindando capacitación y trabajo a gran número de guatemaltecos.

7.4.9 Profundizar en los métodos de fabricación de estructuras laminadas y analizar las posibilidades reales del montaje de una planta de fabricación de laminados en Guatemala.

7.4.10 Propiciar por parte de los catedráticos del área de tecnología de la construcción trabajos de investigación, para motivar a los estudiantes de Arquitectura a conocer y analizar el sistema laminado con lo cual se estarían llenando los cometidos del objetivo académico del presente estudio.

7.4.11 Se recomienda la continuidad del presente estudio con una perspectiva de aplicación, pues como se ha mencionado es en la preservación de la madera la respuesta a los requerimientos tecnológicos constructivos del futuro.

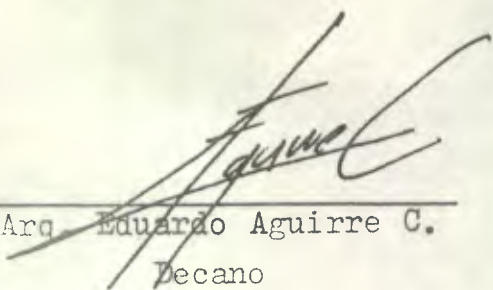
1. American Institute of Timber Construction  
(John Wiley and sons Inc.)  
Timber Construction Manual  
New York 1974, Segunda Edición.
2. Beltranena, Emilio  
Determinación de los Esfuerzos permisibles de trabajo  
para Maderas Nacionales  
Centro de Investigaciones de Ingenieria, USAC, 1978.
3. Capron, Hugh  
Wood Laminating  
Mc Knight, Publishing Company, Illinois 1963.
4. Forest Products Laboratory  
Glued Structural Members  
Wood Handbook, 1974.
5. Hansen, Howard James  
Diseño Moderno de Estructuras de Madera  
Editorial Continental, México 1972, Cuarta Impresión.
6. Instituto Nacional Forestal (INAFOR)  
Investigación Técnico-Económica de la Industria del  
aserrío en Guatemala, Guatemala 1977.
7. Mérida Vilmer Abrahan  
Uso de la Madera Laminada Pegada como Material Estructu-  
ral, Ventajas de su Aplicación en Guatemala  
Tesis Facultad de Ingenieria, USAC 1981.
8. Parker, Harry  
Diseño Simplificado de Armaduras de Techo para Arquitectos y Constructores  
Editorial Limusa, México 1976, Primera Reimpresión.
9. Parker, Harry  
Diseño Simplificado de Estructuras de Madera  
Editorial Limusa, México 1978, Segunda Reimpresión.
10. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo  
W.L. Mittak  
Estimación de la Deforestación y la Reforestación Necesaria, Guatemala 1975, Documento de Trabajo No. 10.

11. Stevens, William Cornwall  
Woos Bending Hand book  
Woodcraft Supply Corporation, 1978.

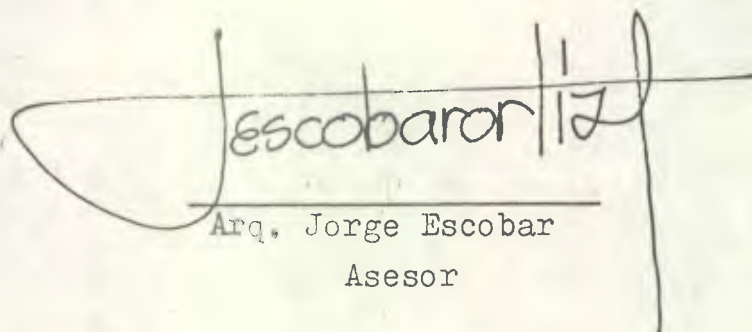
ENTREVISTAS

- Aserradero Fagiani Hnos.
- Aserradero Los Alamos
- LIGNUM S.A. (Preservadores de Madera)
- Transformadora Industrial de Pittsburgh, TIPIC S.A.

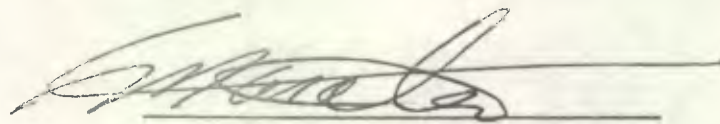
Imprimase:



Arq. Eduardo Aguirre C.  
Decano



Arq. Jorge Escobar  
Asesor



Cesar Alfredo Morales M.  
Sustentante