

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE LA MADERA EN GUATEMALA

TESIS

Presentada a la Junta Directiva
de la Facultad de Ingeniería de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

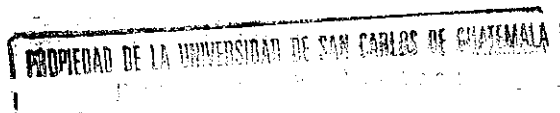
POR:

WILLIAM RAMON GODINEZ MANSILLA

Al conferirsele el título de:

INGENIERO CIVIL

Guatemala, noviembre de 1,996.



08
T(3859)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

INGENIERIA DE LA MADERA EN GUATEMALA

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 3 de julio de 1,996.

WILLIAM RAMON GODINEZ MANSILLA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert Miranda Barrios
VOCAL 1ro.	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL 2do.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3ro.	Ing. Juan Adolfo Echevería Méndez
VOCAL 4to.	Br. Fernando Waldemar de León Contreras
VOCAL 5to.	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO:	Ing.

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podzueck
EXAMINADOR:	Ing. Edgar Vinicio Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR:	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR:	Ing. Arlington Samuel Marroquín
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCION DE BIBLIOTECA Y DOCUMENTACION



Guatemala, 23 de octubre de 1,996.

Ingeniero
Javier Quiñonez de la Cruz
Jefe del Area de Materiales
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería, USAC.

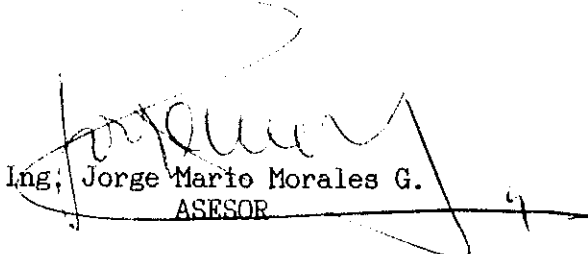
Ingeniero Quiñonez:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis titulado "INGENIERIA DE LA MADERA EN GUATEMALA", realizado por el estudiante universitario William Ramón Godínez Mansilla, para el cual, el suscrito fue nombrado asesor del mismo.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Godínez Mansilla, es de especial importancia pues proporciona valiosa información relacionada con la tecnología de la madera de construcción en Guatemala, además de constituirse en un importante documento de consulta tanto para estudiantes como profesionales de la ingeniería civil.

Después de la revisión del mismo considero que se ha cumplido con el proyecto de investigación programado, por lo que de mi parte, queda aprobado el presente trabajo de tesis para su impresión y publicación.

Atentamente,


Ing. Jorge Mario Morales G.
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala,
24 de octubre de 1,990

Ingeniero Jack Douglas Ibarca,
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil,
Facultad de Ingeniería.

Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis **INGENIERIA DE LA MADERA EN GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante universitario **William Ramón Godínez Mansilla**, quien contó con la asesoría del Ingeniero **Jorge Mario Morales**.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Francisco Javier Quiñones
Coordinador de Materiales

FJQ/lpc

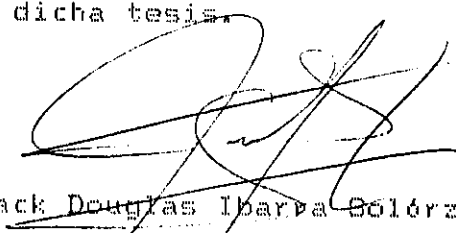


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Jorge Mario Morales G. y como coordinador Area de Materiales Ing. Francisco Javier Quiñonez, trabajo de tesis del estudiante William Ramon Godinez Mansilla, titulado "INGENIERIA DE LA MADERA EN GUATEMALA", da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, noviembre 1, 1996.

JDIS/isa.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

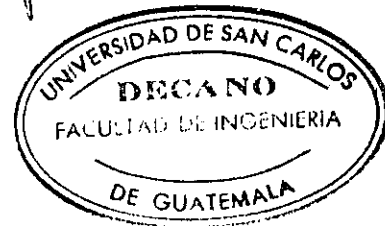
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **INGENIERIA DE LA MADERA EN GUATEMALAL**, del estudiante William Ramon Godinez Mansilla.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, noviembre de 1,996

/isa.

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES

**CARLOS RAMON GODINEZ RODRIGUEZ
MARIA DEL CARMEN MANSILLA DE GODINEZ**

MI HERMANO

CARLOS MILTON GODINEZ MANSILLA

MIS ABUELOS

**JUSTINIANO GARAY ZALDAÑA
ILARIA SUAZO DIAZ (Q.E.P.D.)
JOSE MODESTO GODINEZ
MERCEDEZ RODRIGUEZ**

MIS TIOS

MIS PRIMOS

MI FAMILIA EN GENERAL

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

AGRADECIMIENTOS

- A Dios Todopoderoso.
- A mi asesor Ingeniero Jorge Mario Morales González, por su valiosa colaboración en la elaboración de este trabajo de tesis.

INDICE

	Página
INTRODUCCION	i
OBJETIVOS	ii
ABREVIATURAS	iii
SIMBOLOS	iv
CAPITULO 1	
CARACTERISTICAS DE LA MADERA	1
1.1 CARACTERISTICAS NATURALES	1
1.1.1 ESTRUCTURA DE CRECIMIENTO	1
1.1.2 COMPOSICION QUIMICA	2
1.2 CARACTERISTICAS FISICAS	2
1.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD	2
1.2.2 CAMBIOS VOLUMETRICOS	3
1.2.3 PESO ESPECIFICO	4
1.2.4 EXPANSION TERMICA	4
1.2.5 COEFICIENTE DE FRICCION	4
1.2.6 OTRAS CARACTERISICAS FISICAS	5
1.3 CARACTERISTICAS QUE REDUCEN LA RESISTENCIA	5
1.3.1 NATURALES	5
1.3.2 QUIMICAS Y FISICAS	7
1.3.3 DE SAZONAMIENTO	7
CAPITULO 2	
PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LA MADERA	9
2.1 RESISTENCIA Y DEFORMACION	9
2.1.1 COMPRESION	9
2.1.2 TENSION	9
2.1.3 CORTE	9
2.2 INFLUENCIA DE VARIAS CARACTERISTICAS SOBRE LA RESISTENCIA.	10
2.2.1 GRAVEDAD ESPECIFICA	10
2.2.2 HUMEDAD	11
2.2.3 TEMPERATURA	11
2.2.4 DURACION DE LA CARGA	11
2.2.5 FATIGA	12
2.3 GRADOS ESTRUCTURALES	12
CAPITULO 3	
ESPECIES GUATEMALTECAS DE MADERA UTILIZADAS EN CONSTRUCCION	15
CAPITULO 4	
MATERIALES DE CONSTRUCCION OBTENIDOS DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES.	19
4.1 MADERA CONTRACHAPADA	19
4.1.2 APLICACIONES DIVERSAS	19
4.2 MADERA LAMINADA	24

4.2.1 APLICACIONES DIVERSAS	25
CAPITULO 5	
ESTRUCTURAS EN MADERA	27
5.1 OBRAS PERMANENTES	27
5.1.1 CASAS	27
5.1.2 PUENTES	28
5.1.3 EDIFICIOS	30
5.2 OBRAS FALSAS	30
5.2.1 FORMALETAS	30
CAPITULO 6	
CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN MADERA	37
6.1 ESPECIFICACIONES	37
6.1.1 CARGAS DE DISEÑO	37
6.1.2 FACTORES	44
6.1.3 DISEÑO DE VIGAS	47
6.1.4 DISEÑO DE PIEZAS SOMETIDAS A FUERZAS AXIALES Y COMBINADAS	57
6.2 CLASIFICACION DE LA MADERA PARA SU USO EN CONSTRUCCION	62
6.2.1 DENSIDAD E INDICE DE CRECIMIENTO	63
6.2.2 PRESENCIA DE NUDOS EN LAS PIEZAS	65
6.2.3 MADERA DEFORME	68
6.2.4 RAJADURAS	73
6.2.5 HENDIDURAS	74
6.2.6 CEPILLADO INCOMPLETO	75
6.2.7 GRADO DE INCLINACION O DECLIVE DEL GRANO O FIBRA DE LA MADERA	76
6.2.8 FRACTURAS	77
CAPITULO 7	
DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE MADERA	80
7.1 DESTRUCCION POR DETERIORO	80
7.2 DESTRUCCION POR INSECTOS	81
7.3 DESTRUCCION POR PERFORADORES MARINOS	81
7.4 DESTRUCCION POR DESGASTE MECANICO	81
7.5 DESTRUCCION POR FUEGO	82
7.6 PRESERVACION DE LA MADERA	82
CAPITULO 8	
TIPOS DE UNIONES	85
8.1 UNIONES DE MADERA	85
8.2 UNIONES METALICAS	87
CONCLUSIONES	vi
RECOMENDACIONES	vii
REFERENCIAS	viii
BIBLIOGRAFIA	x
APENDICE	

INTRODUCCION

La madera ha desempeñado un papel muy importante en el avance del género humano. Ha sido empleada por la humanidad para proporcionar abrigo, combustible, armas, transporte y en muchas formas más. Es al mismo tiempo entre los materiales estructurales básicos más importantes el más y menos conocido. Casi todos saben lo que es la madera y sin embargo relativamente pocas personas tienen el conocimiento real de su estructura, sus propiedades y sus muchos usos potenciales.

Como cualquier material es necesario que aquellos que la usan, conozcan su naturaleza y limitaciones. Adecuados códigos de práctica y técnicas de graduación de esfuerzos ayudan a controlar el problema cuando el comportamiento de la madera en la práctica no se relaciona con los resultados de los ensayos de laboratorio en probetas estandar del mismo tipo.

En esta tesis, el estudiante y el profesional es introducido al tema de la madera como un material de abastecimiento inagotable, siempre y cuando esto ocurra como resultado de inteligentes programas de reforestación, como amplia potencialidad de diverso rango en los campos de la construcción.

Finalmente el trabajo está relacionado con las características y propiedades de las maderas guatemaltecas a fin de que en el uso, selección, clasificación y diseño estructural se apliquen las mismas.

OBJETIVOS

- 1. Presentar información sobre las propiedades estructurales de la madera, para que el estudiante, constructor y profesional, puedan hacer uso adecuado de este material dentro de la obra.**
- 2. Establecer un método de clasificación visual de la madera, para mejorar su identificación y optimizar su utilización dentro de la ejecución de la obra.**
- 3. Elaborar una fuente de información sobre la madera, para personas que esten relacionadas con la construcción, tanto a nivel profesional como estudiantil.**

ABREVIATURAS

AITC	American Institute of Timber Construction
BFL	Factor de longitud de contacto
CHE	Contenido de humedad equilibrada
CM	Carga muerta
CMT, RDL	Carga muerta de techo
CMP, FDL	Carga muerta de piso
CUF	Factor de condición de uso de la madera
CVT, RLL	Carga viva de techo
CVP, FLL	Carga viva de piso
FDC, LDF	Factor de duración de carga
MR, RM	Momento resistente
MV, OM	Momento de volteo
NDS	National Design Specification of Wood Structures
psi.	Libras por pulgada cuadrada
psf.	Libras por pie cuadrado
UBC	Uniform Building Code

SIMBOLOS

A	Area.
Ag	Area gruesa.
An	Area neta.
b	Ancho de sección.
CF	Factor de tamaño para ajustar Fb en vigas mayores de 12".
Cf	Factor de forma para ajustar Fb en vigas no rectangulares.
Ck	Límite de Cs, separando el rango intermedio del largo para una viga no soportada lateralmente.
Cp	Coefficiente C para el lado de presión en el análisis por viento.
Cs	Coefficiente C para el lado de succión en el análisis por viento; factor de esbeltez para vigas no soportadas lateralmente.
d	Peralte de sección.
E	Módulo de elasticidad.
e	Espaciamiento entre miembros; excentricidad.
Fb, Fba	Esfuerzo de flexión permisible o de trabajo.
F'b	Esfuerzo flexionante permisible ajustado por estabilidad.
Fc	Esfuerzo permisible de compresión paralela; esfuerzo de contacto o compresión perpendicular.
F'c	Esfuerzo permisible de compresión paralela ajustado por estabilidad.
FT	Fuerza adicional aplicada en el extremo superior de un edificio para el cálculo sísmico.
Ft	Esfuerzo permisible de tensión.
Fv	Esfuerzo cortante permisible.
Fx	Fuerza logitudinal en el nivel x de un edificio para cálculo por sismo.
fb	Esfuerzo flexionante calculado.
fc	Esfuerzo de compresión paralelo calculado; esfuerzo de contacto calculado.
ft	Esfuerzo de tensión calculado.
fv	Esfuerzo cortante calculado.
G	Gravedad específica.
h	Altura.
hi, hx	Altura sobre la base de un edificio al nivel del piso i o x.
I	Momento de inercia.

K	Coefficiente sísmico que depende del sistema resistente a fuerzas laterales; límite de la relación de esbeltez, separando el rango intermedio y largo de columnas.
L, l	Longitud.
Le, le	Longitud no soportada de vigas y columnas.
Lu, lu	Longitud no soportada de vigas y columnas.
M	Momento.
Mp	Momento permisible.
n	Constante igual a 30 para el cálculo de la presión del viento.
P	Fuerza concentrada resultante.
Q	Momento estático de un área para el cálculo de esfuerzo cortante en vigas.
q	Presión debida a la fuerza del viento.
R	Reducción en porcentaje para cargas vivas de techo; reacción.
S	Módulo de sección.
T	Fuerza de tensión; periodo de oscilación.
V	Corte en la base de un edificio debido a fuerzas sísmicas; fuerza lateral.
Vn	Velocidad máxima del viento (registrada).
V	Velocidad del viento a la altura z.
W	Peso muerto total de un edificio.
w	Carga por unidad de longitud.
Wi, Wx	Peso tributario asignado al nivel de piso i ó x.
x	Exponente igual a 0.222 para el cálculo de V.
z	Altura.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DE LA MADERA

1.1 CARACTERISTICAS NATURALES

Un cierto grado de familiaridad con la naturaleza de la madera es necesaria para entender los factores que afectan las propiedades de resistencia y el comportamiento de la misma. A continuación se presentan algunas de las características naturales más importantes, tales como: estructura de crecimiento y composición química.

1.1.1 ESTRUCTURA DE CRECIMIENTO¹

La madera está constituida por una aglomeración de células tubulares de forma y longitud muy variables. Si se hace un corte transversal se aprecian diversas zonas; en el centro, la médula y radios medulares que parten de ella hacia la periferia es la parte más vieja, y se forma por secado y resinificación, separándose sustancias resinosas análogas a la goma, estando generalmente coloreada.

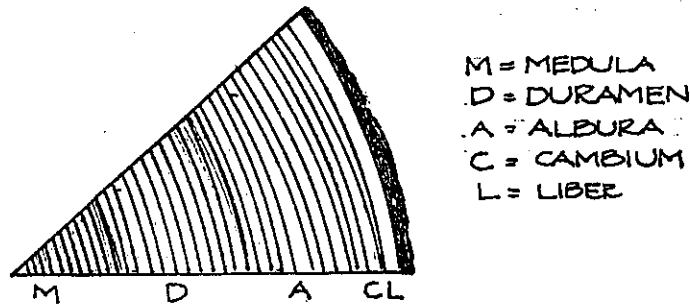


FIGURA 1.1

Forma un cilindro en el eje del árbol y está constituida por células redondeadas que dejan grandes orificios en sus ángulos de unión. La parte inmediata a la médula o corazón es el duramen, formado por madera dura y consistente impregnada de tanino y lignina, que le comunica una coloración rosa. La capa siguiente, llamada albura, es la madera joven; posee más savia y se transforma con el tiempo en duramen al ser sustituido el almidón por tanino, que se fija en la membrana celular, volviéndola más densa e imputrescible. El cambium o capa generatriz está debajo de la corteza formada por células de paredes muy delgadas que son capaces de transformarse

¹ Tomado de referencia No. 10.

por divisiones sucesivas en nuevas células, formándose en la cara interna células de madera nueva o xilema, y en la externa liber o floema.

El incremento en el diámetro del árbol en una región de determinada temperatura es más rápido durante la primavera que después de ella, las celdas producidas durante este período son grandes y de baja densidad. Sus paredes son delgadas y de gran porosidad; la madera temprana, o también conocida como madera de primavera es generada durante este período. La madera tardía o de verano es de celdas más pequeñas y de paredes más compactas. El ciclo se repite cada año, dando como resultado una serie de anillos bien definidos; la edad puede ser determinada haciendo un corte transversal al tronco y contando sus respectivos anillos. Este procedimiento es solamente estimativo y no es aplicable cuando el crecimiento es interrumpido por sequía o defoliación producida por insectos.

1.1.2 COMPOSICION QUIMICA²

La madera está constituida fundamentalmente por materias orgánicas tales como: carbono, hidrogeno, oxígeno y una pequeña cantidad de nitrógeno. Las sustancias que conforman la madera independientemente de la especie son: aproximadamente 50% de carbono, 6% de hidrógeno, y 44% de oxígeno, además un insignificante 0.1% de nitrógeno. En adición a la materia orgánica la madera contiene un cierto número de sustancias orgánicas en menor cantidad.

Los elementos fundamentales de la madera al estar combinados con otros, forman sustancias químicas tales como la celulosa y la lignina. De estas dos la celulosa es la que tiene un contenido más abundante, siendo aproximadamente el 70%. La lignina es el segundo mayor componente de la madera; se cree que ésta trabaja como cementante de las unidades estructurales de la madera, en una acción similar a la del cemento portland en el concreto. Esta es responsable de las características de la rigidez y dureza de la madera. La lignina también contribuye a reducir la absorción del agua, y a incrementar la estabilidad dimensional de la madera.

En adición a la celulosa y la lignina, la estructura de la madera contiene una pequeña cantidad (0.2% a 1%) de cenizas minerales, las cuales constituyen los nutrientes de las raíces del árbol. No como parte de la estructura de la madera, pero incluido en las cavidades de las celdas se encuentran varios extractos los cuales contribuyen al color, olor, sabor e incluso a impedir el decaimiento de la resistencia de la madera.

1.2 CARACTERISTICAS FISICAS³

En los siguientes incisos se dan las definiciones de algunos conceptos importantes tales como, contenido de humedad, gravedad específica y el peso específico entre otras. Es importantes tomar en cuenta la anisotropía de la madera, pues, las propiedades físicas y mecánicas no son las mismas en todas las direcciones.

1.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

La humedad en la madera está en forma saturada y en forma libre. El agua de saturación está retenida en membranas higroscópicas de las células y el agua libre está contenida en los vacíos celulares o intercelulares cuando las paredes de las células están saturadas.

El contenido de humedad (H) se puede calcular así:

² Tomado de referencia No. 5.

³ Tomado de referencia No. 2.

$$H = ((\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) / (\text{peso seco})) \times 100.$$

Esta propiedad varía de la periferia al centro del árbol. La albura tiene mayor humedad que el duramen.

CUADRO 1.1

Grados de humedad	%H
Madera verde o saturada	> 30
Madera semi-seca	23-30
Comercialmente seca	18-22
Seca al aire	13-17

La humedad media (15%) se denomina humedad normal. La madera en piezas grandes tiene variaciones en su estado de humedad. Respecto de piezas comerciales, las humedades que interesan son las humedades medias.

Valores típicos de humedad aceptables en maderas de construcción.

CUADRO 1.2

Medio de uso	Grado de humedad
Local cerrado	17%
Cubiertas abrigadas	17%-20%
Pilotes, andamios	20%-25%
Medios húmedos	25%-30%
En contacto con el agua	30%

HUMEDAD Vrs. RESISTENCIA

El decremento de humedad dentro de ciertos límites, incrementa la resistencia. Arriba del Punto de Saturación de la Fibra (PSF), el porcentaje de humedad no tiene efecto aparente sobre la resistencia. Las piezas pequeñas de madera seca al aire (12%-15% de H) tienen casi el doble de resistencia que las de madera verde. El efecto del incremento de esfuerzo al decrecer la humedad no es igual para todas las propiedades.

Promedio de incremento de esfuerzos al decrecer la humedad en 1%.

CUADRO 1.3

PROPIEDAD	INCREMENTO
Flexión	5.0%
Compresión paralela a la fibra	6.0%
Compresión perpendicular a la fibra	5.5%
Dureza	4.5%
Corte paralelo a la fibra	3.0%
Tensión paralela a la fibra	1.5%
Impacto (flexión)	3.0%

1.2.2 CAMBIOS VOLUMETRICOS

Se produce la tendencia de las celulosas a aumentar o disminuir de volumen cuando absorben agua o la pierden por secado. La retracción se produce cuando desaparecida la humedad libre, empieza a decrecer el agua de saturación de las paredes de las celdas. La dilatación es aumento de volumen con el grado de humedad hasta el PSF, a partir del cual el volumen es constante.

La retracción y la dilatación se producen desigualmente, según el sentido que se considera. En sentido axial es muy pequeño el efecto y en sentido transversal es 2 o 3 veces mayor que en sentido radial. Esta desigualdad produce hendiduras de retracción y deformación, las cuales pandean las piezas.

1.2.3 PESO ESPECIFICO

Es la relación del peso de la madera a su volumen aparente al mismo grado de humedad.

Los factores como la humedad, peso específico (p.e.), y volumen, carecen de significación si no se relaciona con un mismo estado físico, correspondiente a un estado dado del medio ambiente. Se puede calcular así:

$$\text{p.e. seco} = \frac{\text{peso seco horno}}{\text{volumen seco horno}}$$

$$\text{p.e. al aire} = \frac{\text{peso seco al aire}}{\text{volumen seco al aire}}$$

$$\text{p.e. verde} = \frac{\text{peso verde}}{\text{volumen verde (H=30%)}}$$

$$\text{Densidad básica} = \frac{\text{peso seco horno}}{\text{volumen verde (H=30%)}}$$

La relación entre la resistencia y el peso específico de la madera indica que a igualdad de humedad, la madera más densa es la más resistente.

1.2.4 EXPANSION TERMICA

La expansión térmica de la madera es baja y es contrarrestada por la contracción por secado. El coeficiente de expansión es 8 a 10 veces más grande en sentido transversal que en axial y crece en proporción con la temperatura.

El coeficiente de expansión térmica puede despreciarse en cálculos estructurales ya que es mucho menor que la contracción y dilatación por cambios de humedad.

1.2.5 COEFICIENTE DE FRICCION⁴

El coeficiente de fricción de la madera es variable y depende del contenido de humedad, la correspondiente superficie de rugosidad y la velocidad de movimiento relativo.

⁴ Tomado de referencia No. 5.

A continuación se muestra una tabla con diversos valores de coeficiente de fricción que varían ligeramente según la especie.

CUADRO 1.4

CONDICION	FRICCION CONTRA	μ ESTATICA	μ DINAMICA*
Seca	Acero	0.70	0.70
Verde	Acero	0.40	0.15
Seca, suave	Madera seca, suave	0.60	--
Verde, suave	Madera verde, suave	0.83	--

* Relativo a un movimiento de 3.96 m/s.

1.2.6 OTRAS CARACTERISTICAS⁵

1.2.6.1 RESISTENCIA AL CALOR

La madera pierde resistencia al aumentar la temperatura. Entre 2°C y 66°C hay variaciones de resistencia por cada grado de temperatura que aumente o disminuya.

A temperaturas muy bajas (-185°C) es mayor la resistencia de la madera que a temperatura ordinaria.

La madera expuesta a temperaturas mayores de 66°C por períodos largos de tiempo, se debilita, permanentemente.

1.2.6.2 CONDUCTIVIDAD TERMICA

La conductividad térmica es baja y es mayor en sentido paralelo a las fibras (2.25 a 2.75 veces mayor) que en sentido transversal. Varía con la dirección de la fibra, el peso específico, humedad, defectos como nudos y grietas, y las maderas más livianas son mejores aisladores.

1.3 CARACTERISTICAS QUE REDUCEN LA RESISTENCIA

1.3.1 NATURALES⁶

1.3.1.1 FIBRA TORCIDA

Al crecer el árbol sus fibras no lo hacen paralelamente al eje, sino en forma de hélice, debido al excesivo crecimiento de las fibras periféricas, con relación a las interiores, a causa de pasar las raíces de un terreno impermeable a otro profundo y fértil, y se aprecian ya en el árbol en pie, pues la corteza se rasga y sigue la línea espiral de las fibras.

Esta madera sólo sirve para pilotes, postes, etc. pues al escuadrarla se cortan los haces fibrosos en varios sitios, perdiendo mucha resistencia.

1.3.1.2 MADERA CURVADA

⁵ Tomado de referencia No. 2.

⁶ Tomado de referencia No. 10.

Es cuando el fuste del árbol no es recto y presenta trozos curvados en el mismo o en distinto plano. En el primer caso, si la flecha medida perpendicularmente al eje del fuste en el punto más curvo no es muy grande, puede servir como madera de rollo para ciertas aplicaciones, pero en el segundo caso sólo sirve para leña.

1.3.1.3 EXCENRICIDAD DE CORAZON

Es debida a diversas circunstancias de crecimiento, vientos, proximidades de rocas, etc., la madera es heterogénea, teniendo poca elasticidad y resistencia, y si no es muy exagerada la desviación medular no la deprecia mucho.

1.3.1.4 IRREGULARIDAD DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO

Es debida a cambios bruscos de la vegetación del árbol por excesivo aclareo o por vivir aislados. Se deprecia por ser poco elástica y fracturarse con facilidad.

1.3.1.5 ENTRECORTEZA

Consiste en tener un trozo de corteza entre los anillos de crecimiento de la madera, debido a imperfecta soldadura de dos ramas gemelas, y hacen rechazables tales maderas por ser poco resistentes y estar propensas a muchas enfermedades por alojarse gérmenes patógenos en ella.

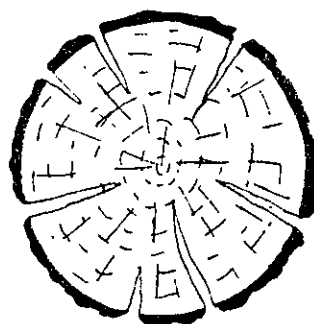
1.3.1.6 NUDOS

Son los tejidos que forman las ramas, las cuales sufren deformaciones, provocando condensaciones de tejido lignificado, comunicando diferente textura y heterogeneidad a las resistencias de la madera, depreciando y siendo rechazable para sierra, cuando son muy gruesos, por ser saltadizos, y al desecarse se desprenden, dejando huecos en las tablas.

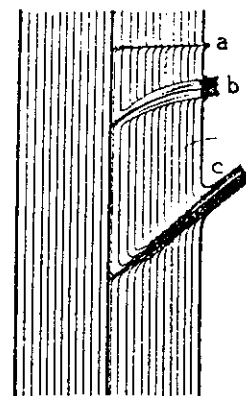
Los nudos se denominan vivos o muertos, según que las ramas que los han formado así estén cuando se apea el árbol. Los primeros son de color claro y adherentes, y los segundos de color oscuro, y generalmente pueden estar podridos.

1.3.1.7 FENDAS

Son grietas más o menos profundas en sentido longitudinal, que se aprecian ya en el árbol en pie si son originadas por los hielos al desgarrar el tronco en sentido de los radios modurales, por formarse en reborde alrededor de la brecha de la corteza. Se producen también fendas por la insolación y la desecación rápida de las maderas, que de no ser grandes y profundas, no las desprecia para ciertos usos.



FENDAS



NUDOS

FIGURA 1.2

1.3.1.8 PATA DE GALLINA

Son fendas que partiendo del corazón, llegan hasta la albura, y aveces a la superficie, debido a una descomposición por vejez o defecto de vegetación, haciéndola inútil para todo trabajo.

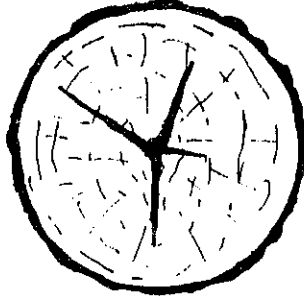


FIGURA 1.3

1.3.1.9 CORAZÓN HUECO

Debido a su destrucción por la pudrición roja de los árboles viejos.

1.3.2 QUIMICAS Y FISICAS⁶

Indica que la acción del calor, del aire, del agua, de los ácidos y bases, provoca lo siguiente:

El calor provoca la destilación y luego la descomposición a partir de alrededor de los 145°.

La exposición al aire produce la oxidación de la madera, fenómeno de combustión lenta, llamado envejecimiento, que determina el ennegrecimiento (la coloración se hace más oscura), sin causar, empero, modificaciones en las propiedades mecánicas. Las células vivientes o los tejidos de reserva han sido progresivamente privados de sus contenidos protoplasmáticos o de reserva haciéndose semejantes a las células muertas de la parte duraminizada; la albura resulta comparable a la madera de corazón, lo cual explica que al cabo de cierto tiempo deje de presentar los inconvenientes que le son propios.

Las maderas sumergidas en el agua o soterradas en un suelo saturado de agua sufren en ciertos casos una modificación (el roble se ennegrece, en tanto que su composición química y su propiedades evolucionan completamente), pero se conservan generalmente muy bien si permanecen constantemente inmersas. Por el contrario, las alternativas de inmersión y emersión resultan nefastas. Esta causa de destrucción debe tenerse especialmente en cuenta cuando se trata de construcciones sobre pilotes, de estructuras que se hallan parcialmente soterradas, postes que sostienen líneas aéreas, de durmientes de ferrocarril, etc.

Los ácidos y las bases pueden, en ciertos casos, atacar los elementos constitutivos de las membranas, hidrolizar la celulosa o disolver la lignina; las bases son generalmente las más nocivas.

⁶ Tomado de referencia No. 4.

1.3.3 DE SAZONAMIENTO⁷

Consiste en la pérdida de humedad que contiene la madera verde, lo cual mejora la funcionalidad.

En el proceso aireado o de horno seco, la madera sufre cambios en sus dimensiones volumétricas antes de que el contenido de humedad se encuentre debajo del punto de saturación. Las diferencias en el cambio dimensional, el encogimiento diferencial entre las direcciones longitudinal, radial y tangencial crea tensión en la madera. La separación a lo largo del grano, ocurre la mayor parte del tiempo en el desarrollo de los anillos de crecimiento anuales. El pandeo de una pieza de madera puede ocurrir como resultado de un sazonamiento impropio. Existen diferentes tipos de distorsión semejantes a la torsión, alabeo o arqueado. Evidentemente, esta madera es poco utilizada para aplicaciones estructurales.

⁷ Tomado de referencia No. 5.

CAPITULO 2

PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LA MADERA

2.1 RESISTENCIA Y DEFORMACION¹

Las relaciones entre carga, duración de la carga, deformación y resistencia del material están basadas en el principio de que el material es homogéneo e isotrópico, esto implica que sus propiedades elásticas y su resistencia serán constantes. La madera tiene estas características a causa de su estructura molecular y de su forma de crecimiento.

2.1.1 COMPRESION

2.1.1.1 PARALELA A LA FIBRA

La madera usualmente falla bajo la acción de una carga uniaxial, dependiendo de la esbeltez de la pieza, así como de defectos en la pieza e inexactitud del centrado de la carga, el tipo de falla es por pandeo, esto sucede en un ángulo de 20 a 30 grados y algunas veces es catalogada como una falla de corte.

Durante el período de transición del estado húmedo a un estado de 15% de humedad, la resistencia a la compresión es incrementada en un 50% al 75% en pequeñas secciones, en secciones grandes es menor el incremento y es limitado por los defectos que se introducen en el secado.

2.1.1.2 PERPENDICULAR A LA FIBRA

Las células de la madera siendo esencialmente vacías, tienen relativamente una baja resistencia cuando son esforzadas en compresión perpendicular a la fibra, durante el período de transición del estado húmedo al estado seco, cuando la madera tiene un 15% de humedad, la resistencia a la compresión es incrementada en un 50%.

2.1.2 TENSION

2.1.2.1 PARALELA A LA FIBRA

Es usual aceptar el módulo de ruptura, como la medida de la fuerza de tensión de la madera, siendo el esfuerzo permisible de tensión $2/3$ del módulo de ruptura.

2.1.2.2 PERPENDICULAR A LA FIBRA

La madera tiene relativamente una baja resistencia a la tensión perpendicular a la fibra y en presencia de defectos tales como grietas, nudos, etc., su resistencia usualmente no entra en el diseño, pero cambios abruptos en secciones transversales pueden causar concentraciones de esfuerzos tal como tensión perpendicular a la fibra, los cuales deberán ser considerados al determinar la capacidad de carga de un miembro.

2.1.3 CORTE

2.1.3.1 PARALELO A LA FIBRA

Cosiderables esfuerzos de corte pueden ser causados o desarrollados paralelos a la fibra. Grietas, rajaduras y astillas paralelas a la fibra reducen significativamente la resistencia en esta dirección. Estos defectos están asociados a grandes muestras, las pequeñas muestras sin defectos pueden exhibir una resistencia al corte, mayor que la de las muestras de secciones grandes.

¹ Tomado de referencia No. 6.

2.2 INFLUENCIA DE VARIAS CARACTERISTICAS SOBRE LA RESISTENCIA²

La presencia de grano inclinado en un miembro estructural reduce su resistencia. Esto es particularmente verdadero en caso de una fuerza de tensión. Los esfuerzos de tensión en madera de grano cruzado, induce de una u otra forma fuerzas de tensión o flexión, éstas son resistidas por una componentes en la dirección del grano y otra en la dirección normal al mismo. La siguiente tiende a separar la fibras causando hendimiento temprano de los miembros estructurales sometidos a tensión directa y una reducción en el módulo de ruptura en un miembro sujeto a flexión. La compresión paralela al grano es afectada por los granos cruzados, en una escala menor.

2.2.1 GRAVEDAD ESPECIFICA

La densidad específica de la madera da una medida real de cantidad de la substancia maderable en algunas especies dadas. Las propiedades de la madera dependen grandemente de la cantidad de madera presente, esto es fácil de ver cuando las relaciones útiles pueden ser establecidas entre las propiedades de resistencia y gravedad específica para unas especies dadas.

Como un ejemplo la figura 2.1 muestra la variación con la gravedad específica de la resistencia de la fibra al límite proporcional en flexión y compresión paralela y normal al grano.

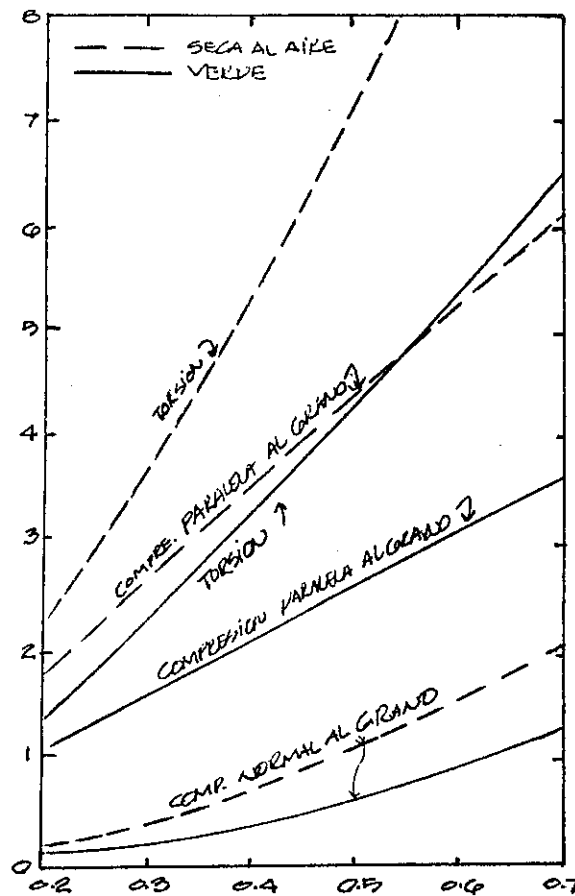


FIGURA 2.1

² Tomado de referencia No. 5.

Las relaciones son dadas para madera verde y madera seca al aire a un 12% de humedad, de un promedio de resultados de resistencia de 160 especies. La fig 2.1 muestra las propiedades dadas de resistencia que se incrementan con la gravedad específica para ambas condiciones (madera verde y seca al aire), pero el incremento es mayor en la madera seca al aire que en la madera verde.

2.2.2 HUMEDAD

Los efectos de la gravedad específica G , sobre la resistencia indican que la resistencia de la madera se incrementa con la gravedad específica. Para algunas piezas de madera dadas, la gravedad específica depende del volumen y en otras es una función del contenido de humedad H . Los cambios en el contenido de humedad afectan la gravedad específica y así varias propiedades de resistencia de la madera. Por ejemplo, el proceso de secamiento de la madera verde a un 12% de humedad, en especímenes de madera clara, puede aumentar al doble la resistencia a compresión paralela al grano; el resecado a un 5% de humedad puede triplicar la resistencia.

Los cambios anteriores en las propiedades en la resistencia no se dan hasta que H no es menor que el correspondiente valor de humedad al punto de saturación de la fibra. Obviamente, estos resultados parten del hecho que el volumen y gravedad específica son constantes durante el proceso de secado hasta que el punto de saturación de la fibra es alcanzado, (aproximadamente $H \geq 30\%$). Abajo de este contenido de humedad, el volumen de la madera decrece, la gravedad específica y las propiedad de resistencia de la madera se incrementan.

2.2.3 TEMPERATURA

Las propiedades de resistencia de la madera son sensibles a las variaciones de temperatura. En general, existe una relación inversa entre las propiedades de temperatura y resistencia; cuando la temperatura se incrementa la resistencia decrece, y cuando la temperatura decrece la resistencia de la madera se incrementa.

Bajo condiciones atmosféricas ordinarias, la madera expuesta cierto tiempo a incrementos moderados de temperatura arriba de lo normal, puede esperarse que recupere sus propiedades cuando la temperatura regrese a un valor normal; pruebas de madera seca al aire expuesta a 105°F por un año afirman lo anterior. Los efectos de la temperatura sobre la resistencia dependen del contenido de humedad de la madera; los cambios son grandes cuando el contenido de humedad incrementa.

La exposición de la madera a alta temperatura por largo tiempo o por periodos permanentes puede provocar decrementos en las propiedades de resistencia.

2.2.4 DURACION DE LA CARGA

Para ensayos se utilizan especímenes de madera idénticos con cargas sostenidas de diferentes valores durante un tiempo prolongado. Las fallas ocurren en tiempos diferentes; el espécimen falla más rápido cuando la carga es mayor; también, bajo ciertas cargas no fallan, no importando la duración de la carga. Estos ensayos no permiten dudar acerca de la influencia de la duración de la carga sobre la resistencia. Si los resultados de estos ensayos se demuestran, usando la resistencia como ordenadas y el tiempo de falla como las abscisas, se forma una curva como la obtenida en la figura 2.2, la asíntota natural de la curva indica que aunque la resistencia se reduce con la duración de la carga, una resistencia mínima existe, la cual es independiente del tiempo. Esto es conocido como resistencia sostenida; físicamente esto da los límites de valores de esfuerzo o carga a la cual el espécimen puede sostener la carga indefinidamente sin fallar.

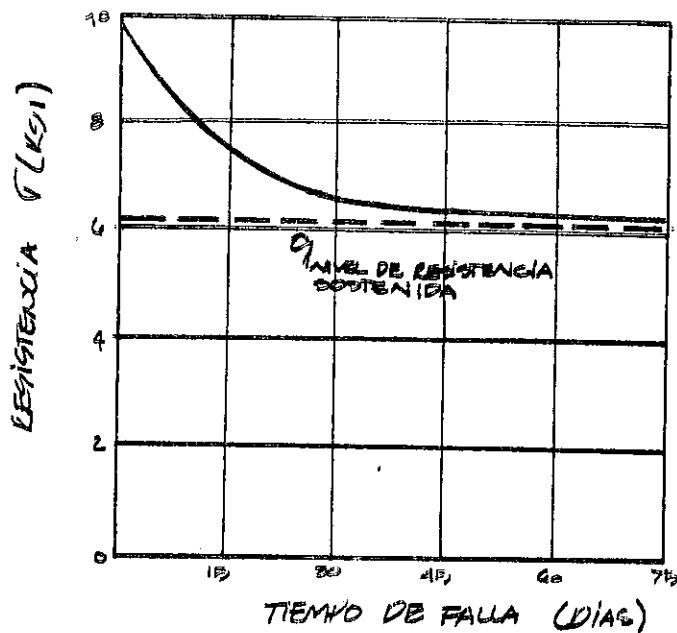


FIGURA 2.2

2.2.5 FATIGA

Una estructura de madera puede estar sujeta a varios ciclos de carga y descarga durante su tiempo de vida. Algunas consideraciones pueden ser dadas a fallas posibles por fatiga cuando las repeticiones pueden ser más de 100,000. La experiencia ha mostrado que las posibilidades de falla por fatiga en los miembros de madera son generalmente menores que los construidos de otros materiales. La resistencia a la fatiga de un gran número de repeticiones de esfuerzos en materiales fibrosos, tales como la madera, proporciona una resistencia estática mayor, que la de los materiales cristalinos, tales como los metales. Así, los esfuerzos reales en una estructura de madera son usualmente menores que los niveles de esfuerzo, los cuales, si se repiten pueden producir falla durante la vida útil de la estructura.

Se considera, generalmente, que el peligro de falla en una estructura en servicio por fatiga es menor. Puede concluirse que, si los esfuerzos repetitivos máximos no exceden el límite proporcional en flexión, las fallas de fatiga son improbables.

2.3 GRADOS ESTRUCTURALES³

A fin de facilitar en la práctica el uso de esfuerzos permisibles de trabajo de conformidad con determinados límites de defectos, se establecen normalmente los llamados grados estructurales de la madera. A cada grado corresponden esfuerzos permisibles de trabajo con un porcentaje dado del esfuerzo básico y para cada grado se fijan los límites de defectos aceptables.

La clasificación de la madera en tamaños comerciales es útil en cuanto a la forma usual de trabajo a fin de que los defectos permitidos sean fijados con base a su influencia en el esfuerzo principal más probable de la pieza y en las medidas de ésta. También se determinan las correcciones

³ Tomado de referencia No. 1.

adicionales por efecto de otros defectos, riesgo de pudrición o decaimiento, grado de sazónamiento, duración de las cargas, etc.

Para las maderas nacionales se emplean tres grados estructurales, a saber, grados A, B, y C habiéndose tomado como criterio base de esta clasificación, que las maderas grados A y B sean para estructuras permanentes y las maderas grado C para construcciones provisionales o auxiliares.

La determinación de estos grados estructurales para maderas de Guatemala, se efectuó de acuerdo a la norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D245, aplicando factores a los esfuerzos básicos.

La madera para todos los grados estructurales debe ser sana, relativamente compacta y de densidad seca no menor del 10% de los valores asignados en la tabla 2.1 del apéndice. Además, debe estar libre de albura e incluso de fracturas de la fibra a tensión o compresión, defectos producidos por el volteo del árbol y por deficiencias de estibado o secado, bolsas de resina en gran número y libre de hongos.

MADERAS GRADO A

Las maderas clasificadas en este grupo tendrán esfuerzos de trabajo de 85% de los esfuerzos básicos de las maderas nacionales. La inclinación de la fibra es de 1:18 para piezas trabajando en flexión o tensión paralela y 1:14 para piezas trabajando en compresión paralela.

MADERAS GRADO B

Estas maderas tendrán esfuerzos de trabajo iguales al 70% de los esfuerzos básicos de las maderas consideradas. La inclinación máxima de la fibra es de 1:14 para miembros estructurales trabajando en flexión o tensión paralela y de 1:10 para miembros trabajando en compresión paralela.

MADERAS GRADO C

Estas tendrán esfuerzos de trabajo con valores del 50% de los esfuerzos básicos. La inclinación máxima de la fibra en flexión y tensión paralela, será de 1:8 y en compresión paralela de 1:6.

A continuación se da una pequeña lista de madera en tamaños comerciales y sus diversos usos estructurales:

Costaneras, Viguetas y Tablones secciones de 5 cm. a 10 cm. de espesor y de 10 cm. o más de ancho, para resistir principalmente flexión, pero usadas también para compresión y tensión.

Vigas y Largueros secciones desde 10 cm. x 20 cm. o mayor para flexión principalmente.

Columnas, Postes, Parales y Puntales piezas cuadradas o rectangulares de 10 cm. x 10 cm. o más de sección que generalmente trabajan a compresión.

Tablas listones piezas de 2.5 cm. de espesor, usadas en tijeras livianas y otros elementos donde los esfuerzos principales son de tensión y compresión (la tabla común de formateado, andamios, fabricación de cajas, etc. no se incluye en esta clasificación).

Ver en el apéndice las tablas 2.1 - 2.4, las cuales muestran los esfuerzos básicos y permisibles para maderas guatemaltecas en los tres grados estructurales.

La metodología para efectuar correcciones y el procedimiento para determinar las propiedades permisibles, valores de diseño, para madera de construcción, visualmente clasificada en grados estructurales, está establecida por las normas ASTM D-1990-91 y ASTM D-2995.

CAPITULO 3

ESPECIES GUATEMALTECAS DE MADERA UTILIZADAS EN CONSTRUCCION¹

SWIETENIA MACROPHYLLA KING

Nombre común: Caoba.

Las características generales de la madera son: albura de color blanco o rosado, con vasos muy grandes, a veces abundantes, y bandas espaciadas de parénquima apotraqueal. La madera tiene un olor fragante muy característico, su color es variable de rojizo, salmón, rosado hasta amarillento recién labrada; ya seca es roja, rojiza, morena clara u oscura, especialmente hacia los haces medulares, de grano fino, compacta liviana o medianamente pesada y muy durable. Por las características de esta madera se le considera excelente para trabajar. El uso es : construcción de lujo, mueblería y ebanistería fina, decorados interiores, aserrío y chapas.

La distribución y zonas de vida de esta especie se localiza en los bosques de tipo: húmedo subtropical (cálido) y muy húmedo subtropical (cálido), de los departamentos de El Petén parte de Izabal, Alta Verapaz y en la Costa Sur del país.

CEDRELA ADORATA

Nombre común: Cedro.

Las características generales de esta madera son: Albura de color crema rosado con un olor muy fuerte y sabor amargo, con vasos grandes, dispuestos en anillos concéntricos y bandas conspicuas y espaciadas de parénquima apotraqueal. Su trabajabilidad es fácil por su fibra y compactación, los usos que se le dan a esta madera son : construcción de lujo, ebanistería, mueblería fina, chapas, aserrío y terciado. Se localiza en los bosques de tipo: húmedo subtropical (cálido) y muy húmedo subtropical (cálido), de la zona norte de los departamentos de El Petén, Izabal y parte de Alta Verapaz y El Quiché; así como en la Costa Sur.

ENTEROLOBIUM CYCLOCARPUM

Nombre común: Guanacaste o Conacaste.

Las características generales de esta madera son: duramen en tonos de café, ocasionalmente con rayas de pigmento de color oscuro. La fibra va de recta a estrechamente entrelazada. La madera normalmente es fácil de trabajar con herramientas manuales y/o con máquinas; puede alcanzar un buen acabado y cuenta con buena estabilidad dimensional; es considerada tan buena como el cedro, debido a su resistencia a la pudrición y a los ataques de insectos. Generalmente es más liviana en peso que el cedro; su peso específico en kilogramo por metro cúbico está entre 380 a 600.

El uso industrial de la madera es: carpintería y mueblería corrientes, chapas, construcción y aserrío. Se hace saber que el polvo fino que sale en la elaboración de la madera seca causa irritación a las membranas mucosas en la mayoría de las personas. Esta especie se puede localizar con más frecuencia en los bosques de tipo: muy húmedo subtropical (cálido), especialmente de la costa sur y algunas áreas del departamento de Izabal.

¹ Tomado de referencia No. 6.

CALOPHYLLUM BRASILIENSE

Nombre común: Mario y Santa María.

Las características generales de esta madera son: duramen de color rosado a rojo ladrillo o de un café color rojizo rico y marcado por franjas más finas y levemente más oscuras sobre las superficies planas aserradas. La fibra entrelazada muestra una franja amplia en las superficies cuarteadas; el peso específico oscila entre 700 a 900 kilogramos por metro cúbico. La madera es moderadamente fácil de trabajar y puede hacerse un trabajo de primera clase si se pone atención a las operaciones de maquinaria. Al planificar operaciones es deseable que se use un ángulo de corte de 20° y velocidades de la máquina que produzcan aproximadamente 20 cortes por pulgada.

Es una de las especies más comunmente usadas en los trópicos, especialmente para forros, pisos, construcción y mueblería fina, donde se requiere madera moderadamente durable y regularmente densa; con cuidado apropiado en el secamiento y el trabajo en máquinas podría obtenerse un mayor volumen en el valor de la utilización. La zona de vida de esta especie está en los bosques de tipo: muy húmedo subtropical (cálido) y húmedo subtropical (cálido).

TERMINALIA AMAZONIA

Nombre común: Canxún, Canxán y Naranja.

Las características generales de la madera son: de color amarillo olivo a café amarillento y comúnmente marcada con pigmento irregularmente espaciado en franjas rojas a café rojizas. Textura mediana, fibra variable, va de recta a entrelazada o con una figura de ondulado fino. El peso específico oscila entre 800 a 1100 kilogramos por metro cúbico. Esta madera se puede utilizar para construcciones pesadas, mueblería corriente y durmientes. Se localiza en bosques de tipo húmedo subtropical (cálido) y muy húmedo subtropical (cálido), especialmente en la región norte del país en los departamentos de El Petén e Izabal.

VOCHYSIA HONDURENSIS

Nombre común: San Juan y Sayuc.

Las características generales de la madera son: duramen de color gris a café rosáceo; no siempre distinto de la albura. Textura gruesa; fibra ampliamente entrelazada. Se trabaja bien en máquinas, pero se sabe que desgasta las herramientas rápidamente.

La madera delgada, aserrada tangencialmente es muy propensa a rajarse debido aparentemente a la fibra ampliamente entrelazada. Se seca rápidamente. Esta especie deberá asearse cuartoneada para aprovechar el movimiento radial tan bajo. La madera de color más claro es la más propensa a la descomposición. Su peso específico oscila entre 550 a 725 kilogramos por metro cúbico. Esta madera se utiliza para carpintería barata, construcción y durmientes. Se localiza en los bosques de tipo: muy húmedo subtropical (cálido) y húmedo subtropical (cálido).

ROSEODENDRON DONNELL SMITHII

Nombre común: Palo Blanco o Primavera.

Las características generales de la madera son: de color amarillo o amarillento brillante, que en árboles añosos suele presentar zonas ligeramente morenas, de grano fino, textura media muy llamativa, compacta, moderadamente pesada, moderadamente fuerte, resistente y durable al abrigo. El peso específico de esta especie es de 450 a 650 kilogramos por metro cúbico. La madera se utiliza

para la fabricación de muebles finos, forros interiores y ebanistería. Esta especie se localiza en los bosques de tipo: bosque muy húmedo subtropical (cálido) y húmedo subtropical (cálido).

QUERCUS SP.

Nombre común: Encino o Roble.

Las características generales de la madera son: los Quercus criollos producen madera blanca, vetada, rojiza morena u oscura, pesada, de grano fino, de poro y grano variable con la especie pero siempre compacta, muy resistente, cuyos haces más o menos diferentes en tonalidades, le dan una preciosa apariencia de colorido y brillantez, de fácil pulimiento, muy resistente, elástica y durable, cualquiera que sea la especie. Las maderas de robles y encinos están consideradas entre las de más alta calidad. Se emplean en construcciones, mueblería fina, enchapado, revestimientos y decorados interiores, en carrocería, durmientes, etc. Su corteza se emplea en los curtiembres. Casi todas las especies producen abundantes frutos -bellotas- de gran valor en el forrajeo animal; (se usa mucho para leña), las hay de frutos muy ricos en aceite comestible. Este tipo de especies se localizan en los bosques de tipo húmedo subtropical, húmedo subtropical, húmedo montano bajo subtropical, muy húmedo montano bajo subtropical y muy húmedo montano subtropical.

PINUS CARIBAEA MORELET

Nombre común: Pino de El Petén o Pino de Poptún.

Las características generales de la madera son: de color amarillento es buena para construcciones en general y contiene abundante resina, lo cual hace de la especie apropiada para su explotación. Distribución: habita entre 100 y 400 metros sobre el nivel del mar, especialmente en Poptún y Dolores en el departamento de El Petén; al este de Alta Verapaz y Norte de Izabal. Los usos que se le dan a esta madera son: mueblería de segunda, forros, construcción y aserrío. Se localiza en el bosque de tipo muy húmedo subtropical.

PINUS OOCARPA SCHIEDE

Nombre común: Pino Colorado, Ocote y Chaj.

Las características generales de esta madera son: de color blanco amarillento en ejemplares jóvenes hasta rojiza en los adultos, debido a la acumulación de abundante resina.

Es muy usada en construcciones. Se le ha exportado en grandes cantidades a Estados Unidos de América debido a su alto contenido de trementina, por la que se ha explotado irracionalmente. La distribución de esta especie se le encuentra entre los 500 y 2,400 metros sobre el nivel del mar en el bosque de tipo: húmedo subtropical (templado). Se le encuentra en la mayoría de los departamentos de occidente así como en los departamentos de Santa Rosa y El Progreso, los usos que se le dan a esta madera son los siguientes: aserrío, construcción, resinación, leña, palillos de ocote, mueblería de segunda, forros, hormas y molduras.

PINUS AYACAHUITE (K. EHRENBERG)

Nombre común: Pino Blanco o Curtidor, Falso Pinabete y Pino Dulce.

Las características generales de la madera son: de color blanco amarillento y fácil de trabajar, usada en mueblería corriente. Hasta el momento ha sido una especie refractoria del gorgojo dendroctonus sp. La distribución ecológica de esta especie se localiza entre los 2,300 a 3,200 metros de altura sobre el nivel del mar, especialmente en el occidente del país, en los bosques de tipo muy húmedo montano bajo, subtropical, húmedo montano subtropical y muy húmedo montano

subtropical. Los usos que se le dan a esta madera son los siguientes: construcción, mueblería corriente, forros, leña, decorados, hormas y molduras.

PINUS HARTWEGII

Nombre común: Pino de las Cumbres y Pino Colorado.

Las características generales de la madera son: de color amarillenta en árboles jóvenes y amarillenta rojiza en árboles adultos, utilizada en construcciones y mueblería ligera. Tiene la desventaja que los bosques son atacados por el gorgojo del pino (*Dendroctonus* sp.), que causa grandes estragos. La distribución de esta especie se localiza entre los 2,300 a 4,000 metros de altura sobre el nivel del mar, especialmente los departamentos del occidente del país y Baja Verapaz. Esta especie se encuentra en los bosques de tipo muy húmedo montano bajo subtropical, muy húmedo montano subtropical y húmedo montano subtropical. Entre los usos que se le dan a esta madera están los siguientes: forros, construcción, mueblería barata, leña y aserrio.

PINUS TENUIFOLIA BENTH

Nombre común: Candelillo.

Las características generales de la madera son: casi blanca como el pino ayacahite. La distribución ecológica es la siguiente: habita entre los 1,100 a 2,400 metros sobre el nivel del mar, especialmente en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepequez, Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Quiché Guatemala y Chiquimula. Se localiza en los bosque de tipo húmedo subtropical (templado) y húmedo bajo subtropical. Los usos que se le dan a esta madera son los siguientes: mueblería barata, forros, leña, construcción y aserrio.

PINUS MONTEZUMAE LAMBERT

Nombre común: Pino Macho y Pino de Ocote.

Las características generales de la madera son: de color blanco en árboles jóvenes, mas tarde con vetas amarillas y por último, gran parte de los haces leñosos rojizos. Debido a la acumulación de trementina, lleva el nombre de pino de ocote. Habita entre los 1,500 a 2,500 metros sobre el nivel del mar en casi todos los departamentos del occidente del país. Se localiza en los bosques de tipo húmedo montano bajo subtropical. Los usos que se le dan a esta madera son: mueblería barata, construcción, aserrio, leña, forros, hormas y molduras.

CUPRESUS LUSITANICA MILLER

Nombre común: Ciprés.

Las características generales de la madera son: de color blanco, en los árboles añosos, color amarillo rojizo siempre de grano fino, buena textura, compacta, elástica, moderadamente fuerte, liviana; durable en lugar abrigado. Habita entre los 2,200 y 3,300 metros sobre el nivel del mar, especialmente en la mayoría de los departamentos del altiplano y en oriente en los departamentos de Jalapa y El Progreso, en los bosques de tipo muy húmedo montano bajo subtropical, y muy húmedo montano subtropical. Los usos de esta madera son: construcción, mueblería corriente, forros, postes, leña y aserrio.

En las tablas 2.1 - 2.4 del apéndice, se muestran las propiedades físico-mecánicas de las maderas más utilizadas en Guatemala para la construcción.

CAPITULO 4

MATERIALES DE CONSTRUCCION OBTENIDOS DE LA MADERA Y SUS APLICACIONES

4.1 MADERA CONTRACHAPADA¹

Según Flores (3), se conoce con el nombre de madera contrachapada, al material elaborado de madera en forma de chapas pegadas, alternas con la dirección de las fibras a 90° entre sí.

La tendencia a pandearse y agrietarse, con los cambios de humedad y temperatura en la madera corriente ocurre debido a que ésta tiene más resistencia en el sentido paralelo a las fibras, que en el perpendicular a las mismas.

Esta desventaja se corrige en la madera contrachapada, alternando la dirección de las fibras en las distintas chapas, con esto se logra uniformizar la resistencia en los dos sentidos, con lo que se evitan los alabeos y agrietamientos, además por ser la madera contrachapada, prácticamente un producto de fábrica se puede controlar más eficientemente.

Se fabrican varios tipos de madera contrachapada, entre las cuales se tienen: banak, laurel, negrito, castaño, etc., cuyos espesores varían de 3/16" (0.48cm) hasta 3/4" (1.9cm), con órdenes especiales.

El número de chapas para cada espesor de madera contrachapada varía de 3 para el de 3/16" (0.48 cm) y 1/4" (0.63 cm), hasta 7 chapas para el de 3/4" (1.90 cm).

4.1.1 APLICACIONES DIVERSAS²

4.1.1.1 UNIONES DE MADERA CONTRACHAPADA

En determinadas estructuras, como armaduras, tijeras livianas y marcos rígidos, se puede usar ventajosamente la madera contrachapada como un medio de hacer las uniones en los nudos formados por la convergencia de varias piezas. En otras estructuras será necesario unir la madera contrachapada de unos tableros con otros, de modo que tengan la continuidad necesaria que exige el diseño. La manera de hacer uniones es con pernos, clavos o tornillos, cola y conectores. A continuación se describen brevemente algunas formas:

a) PERNOS

Para determinar las cargas que pueden ser transmitidas entre un perno y la madera contrachapada, usar el doble de los esfuerzos en compresión permitidos en las chapas, siempre tomando en cuenta la reducción obligada debido al ángulo que forma la carga respecto a las fibras. Las distancias de los pernos a las orillas de los tableros se recomiendan así:

CUADRO 4.1

GRUESO TABLERO	DIAMETRO PERNO	DIST. EXT.FINAL	DIST. A ORILLA ADYACENTE
3/4"	3/4" (1.90cm)	6" (15.24cm)	3" (7.62cm)
1/2"-3/4"	1/2" (1.27cm)	3" (7.62cm)	3" (7.62cm)
1/2"-5/8"	3/4" (1.90cm)	4" (10.16cm)	3" (7.62cm)

¹ Tomado de referencia No. 3.

² Tomado de referencia No. 7.

b) CLAVOS

En este caso, las uniones hay que calcularlas en base del esfuerzo lateral permisible en los clavos. Para que el clavo pueda desarrollar su máximo de fuerza, se debe usar de tal longitud, que la punta penetre aproximadamente $2/3$ de su longitud, en la madera sólida, y la cabeza quede sujetando la madera contrachapada. Las cargas laterales de diseño que resisten diferentes tamaños de clavos varían de acuerdo con la densidad de la madera y se pueden encontrar en diferentes manuales de diseño en madera.

El espaciamiento mínimo entre clavos, deberá ser tal que no se produzcan astilladuras. La distancia entre la orilla de la madera y los clavos debe ser de una pulgada (2.54cm) aproximadamente.

c) COLA

Se usará de caseína y se aplicará presión con prensas; en el caso de no resultar práctico el uso de prensa, se pueden usar clavos o tornillos para ejercer una presión adecuada; para esto se recomienda usar un clavo por cada 8 pulgadas cuadradas de superficie encolada y se deben hundir bien las cabezas hasta que escurra la cola en las orillas. Para el diseño, se calcula una resistencia entre los miembros encolados, igual a la resistencia al corte en el plano de la chapas en el caso de haber encolado cuidadosamente y con prensas. Si se usaron clavos, se adopta un esfuerzo permisible aún más bajo. No se puede asumir que los clavos resisten parte de la carga, pues la junta encolada es de tal rigidez, que no llegan a trabajar los clavos, sino hasta que falla la cola. También se usa a veces el criterio de diseñar las juntas con clavos, y se encola sólo para darle rigidez a la unión. En el cálculo de juntas encoladas, hay que ser muy conservador, pues es difícil controlar todos los factores que intervienen en la resistencia de la cola.

d) TORNILLOS

Las recomendaciones para el uso de tornillos, son muy similares a la de los clavos, debiendo sólo tener el cuidado de usar valores soportes adecuados para la dimensión del tornillo usado.

e) CONECTORES

Estos se podrían usar solamente si fuera factible obtener tableros de madera contrachapada de grueso suficiente para llenar los requisitos necesarios especificados por los fabricantes de los conectores; como no es este el caso, se juzga impráctico efectuar uniones de madera constrachapada, de esta manera.

4.1.1.2 BASES PARA PISO

La madera contrachapada constituye un material adecuado como base para pisos, siendo indispensable usar como pisos directamente, materiales más resistentes al desgaste y a la indentación. Si se usa en esta forma se puede aprovechar como un medio efectivo de darle rigidez al edificio contra empujes laterales de viento y sismos, calculándola como diafragmas horizontales.

Los tableros de madera contrachapada hay que colocarlos con el hilo de sus caras exteriores perpendiculares a los soportes. Estos soportes estarán espaciados según el grosor de los tableros, exponiéndose a continuación algunos indicaciones al respecto.

CUADRO 4.2

GRUESO TABLEROS	ESPACIO SOPORTES
1/2" (1.27cm)	16" (40.64cm)
5/8" (1.58cm)	20" (50.80cm)
3/4" (1.90cm)	24" (60.96cm)

Estos valores ofrecen resistencia adecuada a cargas hasta de 150 lbs/pie² (729.0 kg/m²) si el piso provee resistencia adicional se puede aumentar el espaciamiento. El modo de unir los tableros a sus soportes, será con clavos de 2" a 2 1/2" (5 a 6.35cm) espaciados a 6" (15.24cm) en los perímetros y a 12" (30.48cm) en soportes intermedios como máximo, usando más clavos si se diseña como diafragma y el cálculo así lo exija.

4.1.1.3 TECHADO

Se pueden usar tableros de madera contrachapada para techar edificios protegiéndolos con pinturas adecuadas, cartón asfaltado, etc. El espaciamiento de las costaneras que soportan a los tableros, podrá ser el doble de los valores expuestos para el subpiso en la sección anterior. Las recomendaciones referentes a los clavos son las mismas.

4.1.1.4 FORRO DE PAREDES

Este es otro uso muy ventajoso de la madera contrachapada estructuralmente. Se pueden usar cualesquiera gruesos de tableros, a juicio del calculista, aunque parece ser que ya 1/4" es muy delgado. Para la sujeción a la armazón que soportara la madera contrachapada, es conveniente seguir las mismas indicaciones expuestas para las bases de los pisos.

4.1.1.5 FORMALETEADO

En determinados casos es más ventajoso el uso de madera contrachapada como formaleta, comparado con otros materiales como la madera común, por ejemplo; debido a ciertas características propias, como el acabado más parejo de su superficie, la facilidad de obtenerlo en tableros grandes, etc. Según el acabado que se desee en el concreto, se puede usar madera contrachapada lijada o no, y dependiendo del número de veces que se quiera utilizar la formaleta, así se escoge el tipo de madera contrachapada interior o exterior, entendiéndose que el tipo exterior resiste más usos que el otro. Para ayudar a estimar la clase de formaleta a usar, será útil las siguiente tabla:

CUADRO 4.3

GRUESO MADERA	ESPACIO DE SOPORTES	DEFLEXION EN FRACCION DE LUZ	CARGA EN LBS/PIE2
5/8"	12" (30.48cm)	1/270	880 (4277 kg/m ²)
3/4"	12" (30.48cm)	1/270	1330 (6464 ")
3/4"	16" (40.64cm)	1/270	560 (2722 ")
5/8"	12" (30.48cm)	1/360	660 (3208 ")
3/4"	12" (30.48cm)	1/360	1000 (4860 ")
3/4"	16" (40.64cm)	1/360	420 (2041 ")

4.1.1.6 VIGAS COMPUESTAS DE MADERA COMUN CON MADERA CONTRAPAPADA

Estas vigas consisten en una armazón en que el alma es de madera contrachapada y el reborde de madera sólida. Pueden tener una sola alma y entonces su sección es en forma de I, o más de una y entonces tiene forma de cajón o de cajones acoplados, según sean dos o más almas, así:

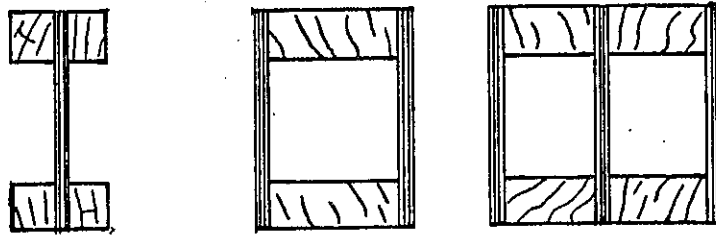


FIGURA 4.1

Estas vigas poseen una gran rigidez y poco peso, lo que las hacen ventajosas en determinadas estructuras. La unión entre las maderas contrachapada y la sólida se puede hacer con clavos y con cola, como se indicó anteriormente.

Para diseñar estas vigas compuestas, se puede asumir un proceso simplificado que es satisfactorio para la mayoría de los casos, y consiste en considerar que el alma de madera contrachapada resiste el corte y los rebordes de madera sólida el momento flector.

Si se hacen las juntas encoladas, el área de contacto entre rebordes y alma deberá ser por lo menos 4 veces el espesor de el alma, para proveer una superficie suficiente para que la cola pegue bien, si son clavadas, se necesitará más área probablemente, debido a que la unión con clavos es más ineficiente que la cola.

Donde se interrumpe la continuidad de las piezas de los rebordes o del alma, es necesario calcular la junta de manera adecuada. Para prevenir el pandeo de el alma, es necesario proveer piezas de madera sólida que refuerzen la viga en los extremos o apoyos y en tramos intermedios, a distancias escogidas de acuerdo con el criterio de el calculista, ver fig. 4.2.

Contra el pandeo lateral se aprovecharán las partes del resto de la estructura que se apoyen en la viga, como costaneras, por ejemplo.

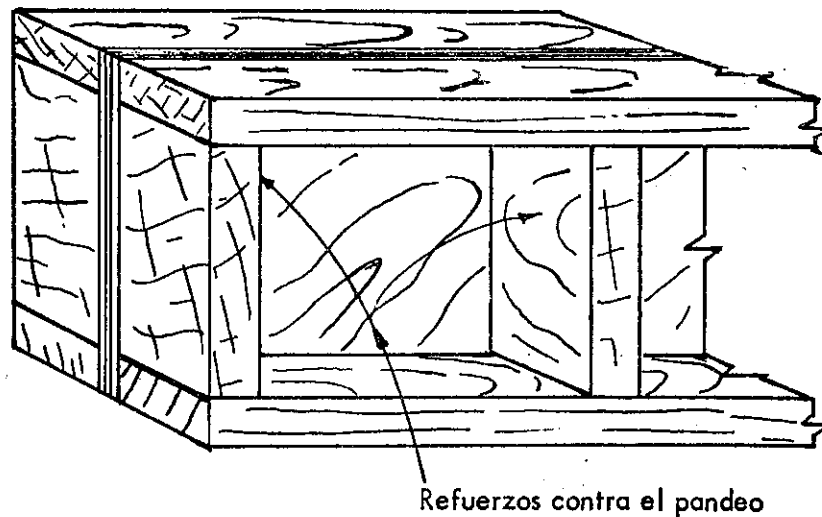


FIGURA 4.2

4.1.1.7 DIAFRAGMAS DE MADERA CONTRACHAPADA

Consisten en armazones de madera común, cubiertas con tableros de madera contrachapada. Usualmente se unen con clavos. Los pisos y los techos en los edificios se pueden considerar como diafragmas horizontales y las paredes como verticales. Su misión consiste en darle rigidez a las estructuras y en transmitir las cargas laterales de viento o sismos a los cimientos. En un diafragma la madera contrachapada actúa transmitiendo los esfuerzos de corte, y la madera de la armazón en el perímetro del diafragma transmite los esfuerzos de flexión. Así, las paredes trabajan como vigas en voladizo, con la carga en la parte superior en dirección del plano de los tablero, y la parte inferior empotrada convenientemente. Los pisos se calculan como vigas para resistir cargas verticales y también como diafragmas para las horizontales.

La relación entre largo y ancho de los diafragmas tendrá que restringirse para prevenir un exceso de deformación por acción de las cargas.

La armazón será diseñada para resistir las cargas axiales, pero debiendo además, llenar los requisitos de espaciado mencionados en Base de Pisos, Techado y Forro de Paredes. Los miembros del perímetro de los diafragmas se diseñarán sólo para tensión o compresión, para absorber los esfuerzos que resultan de la flexión a que estarán sometidos éstos.

4.1.1.8 ARMAZONES EN QUE LA MADERA CONTRACHAPADA ABSORBE LOS ESFUERZOS DE FLEXION

En estas estructuras, la madera contrachapada tiene que ir pegada con cola a la armazón de madera sólida, pues es indispensable que trabajen integralmente.

Para que la pegada sea efectiva, hay que ejercer presión adecuada con prensas, lo que es muy fácil con estructuras prefabricadas. Pero también se puede obtener con clavos para construcciones comunes. Para calcular estas armazones, se asumen dimensiones y se investigan los esfuerzos producidos a cargas admisibles.

4.2 MADERA LAMINADA³

Metodos modernos han hecho de la madera un verdadero material de construcción, ejemplo de esto es el proceso de pegar laminaciones de madera para formar miembros estructurales más grandes.

Cualquiera que sea el propósito estructural o el motivo arquitectónico la madera laminada pegada, da belleza, resistencia y utilidad.

La madera laminada es relativamente liviana en peso, puede ser trabajada con herramientas manuales y es fácil de ensamblar y colocar.

Los miembros de madera laminada pegada, son hechos de material pegado conformado de piezas pequeñas de madera, tanto de forma recta como cruzada, con la fibra de todas las laminaciones colocadas esencialmente paralelas en el sentido longitudinal del miembro. Así la madera laminada es básicamente diferente del plywood, en el cual la fibra está en ángulos rectos, el grosor estandar de las laminaciones no debe ser mayor de 2" (5.08cm); actualmente se usan laminaciones de 3/4" (1.90cm) a 1 1/2" (3.81cm).

Las laminaciones de 3/4" (1.90cm) son más apropiadas que las de 1 1/2" (3.81cm), a causa de la mejor distribución de las hojas y el menor efecto perjudicial de torcedura.

La madera laminada pegada, puede usarse para miembros estructurales rectos o curvos. Perfectamente pueden ser construidos en arcos curvos de más de 300 pies (91.74m) de luz; los miembros rectos pueden ser usados desde los 100 pies (30.58m) de luz y donde no haya casos excepcionales de carga, hasta los 300 pies (91.74m).

Los miembros laminados pegados pueden construirse en un número infinito de tamaños y formas, pero es económico usar laminaciones de anchos y gruesos estandar. En la tabla siguiente se dan los anchos usados de los bordes.

CUADRO 4.4

ANCHO NOMINAL (PULGADAS)	ANCHO ACABADO (PULGADAS)
3 (7.62cm)	2 1/4 (5.72cm)
4 (10.16cm)	3 1/4 (8.26cm)
5 (12.70cm)	4 1/4 (10.80cm)
6 (15.24cm)	5 1/4 - 5 (13.33-17.7cm)
8 (20.32cm)	7 (17.78cm)
10 (25.40cm)	9 (22.86cm)
12 (30.48cm)	11 (27.94cm)
14 (35.56cm)	12 1/2 (31.75cm)
15 (38.10cm)	14 1/4 (36.20cm)

Es recomendable el uso de laminaciones de 1 1/2" (3.81cm) para miembros rectos y el uso de laminaciones de 3/4" (1.90cm) de espesor para arcos.

³ Tomado de referencia No. 8.

La laminaciones pueden secarse completamente antes de la fabricación, además pueden elegirse libres de grietas u otros factores perjudiciales, que en los miembros de una sola pieza no pueden evitarse. Por esta razón un miembro de madera laminada tiene una resistencia mayor que un miembro sólido de madera del mismo grado, por lo que pueden usarse en el diseño esfuerzos permisibles mayores.

Los valores de esfuerzos deben ser calculados cuando el contenido de humedad sea 16%, como en la mayoría de estructuras cubiertas.

La duración normal de una carga, contempla fatiga total o esfuerzo al miembro. Los esfuerzos deben ser calculados para una duración de aplicación de carga de 10 años continuos, cuando un miembro es totalmente sometido a esfuerzos durante un periodo mayor de 10 años continuos, los esfuerzos serán 90% de los calculados para 10 años.

Cuando la duración de la carga no excede el período indicado los esfuerzos aumentan como sigue: 15% por dos meses de duración; 25% para siete días de duración; 33% para vientos o terremotos; 100% para impactos. Estos ajustes no se refieren a módulos de elasticidad, excepto cuando sean para determinar esfuerzos permitidos para columnas.

4.2.1 APLICACIONES DIVERSAS

4.2.1.1 VIGAS

Las vigas laminadas pegadas son usadas en escuelas, iglesias o edificios industriales. La variedad de formas, tamaños y capacidad de carga permisible de las vigas laminadas pegadas, hacen que dichos elementos se usen en miembros estructurales principales, mientras que las vigas de madera sólida están restringidas a usarse solo en pequeñas luces. Puesto que su excelente resistencia al fuego es reconocida, el uso de las vigas laminadas en la construcción de edificios, se acepta plenamente.

Las vigas de madera sólida pesadas no son prácticas y su costo es alto para luces en sistemas de techo simple. Las vigas laminadas pegadas pueden mantenerse en una luz de 90 pies (27.52 m). Las vigas inclinadas o curvadas en luces de 100 pies (30.58 m). Si se usan vigas en voladizo o vigas continuas, entramados de techo, el espaciamiento de las columnas debe estar hasta alrededor de 100 pies (30.58 m). Los sistemas para pisos son limitados a 40 pies (12.23 m) si son vigas simples o continuas.

4.2.1.2 ARCOS

Los arcos de madera laminada son muy usados en iglesias, escuelas y otros edificios públicos. Los tipos más comunes son: tudor, gótico, radial y parabólico. Los arcos tudor y gótico son usualmente de tres articulaciones, los arcos radial y parabólico pueden ser de tres articulaciones, pero son frecuentemente solo de dos. Las luces usuales son de 30 a 250 pies (9.17 a 76.45 m), con espaciamiento de 16 a 30 pies (4.90 a 9.17 m).

Las armaduras arqueadas son también muy usadas, pueden ser de tres o de dos articulaciones.

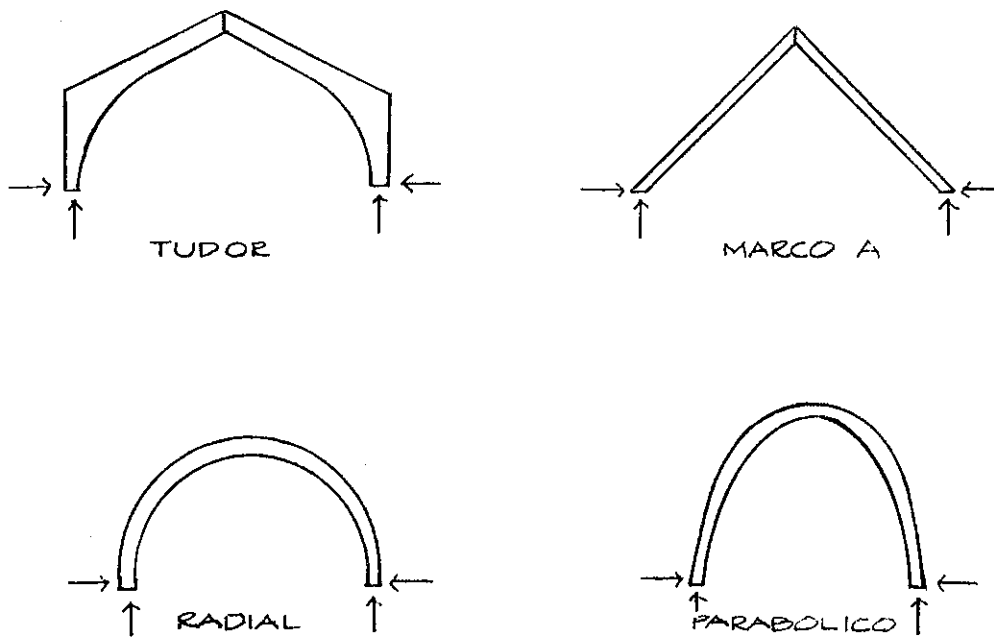


FIGURA 4.3

4.2.1.3 CUBIERTAS DE MADERA

Las cubiertas de madera son una parte importante del sistema de construcción de edificios que utilizan vigas de madera laminada o arcos.

Los pisos laminados deberán estar formados por piezas de una longitud de dos o más claros, con los extremos alternados aproximadamente 4 pies (1.22 m).

CAPITULO 5

ESTRUCTURAS EN MADERA

5.1 OBRAS PERMANENTES

5.1.1 CASAS¹

Los usos más comunes y corrientes que frecuentemente en nuestro medio se le da a la madera en la construcción de viviendas, son los que a continuación se describen.

5.1.1.1 ARTESONADO

Se le da el nombre de artesonado a la construcción de armaduras y estructuras en madera para techos. Las construcciones hechas con este material datan de épocas remotas y su empleo ha venido aumentando de acuerdo con la técnica constructiva, hasta llegar a ser en nuestros días, un ramo tan importante dentro de la construcción.

Por medio de tratamientos químicos, térmicos y electrónicos, se han logrado hacer de la madera un material incombustible, resistente a los insectos y a la intemperie, ligero y con un comportamiento magnífico cuando se ve sometida a esfuerzos de flexión y de compresión.

5.1.1.2 CIELOS FALSOS

Además de que un cielo falso o raso es un aislante acústico y térmico, se puede aprovechar como reflector de la luz, contribuyendo a la mejor iluminación del local, por esta razón no debe renunciarse al empleo de los cielos rasos, actualmente existen muchos materiales para este objeto, los cuales reúnen características de diseño, tales como materiales acústicos, transparentes, etc.

Sin embargo, en nuestro medio aún se usa la madera para cielo raso en formas variadas, tales como machihembre, planchas de plywood o táblex de formas rectangulares.

5.1.1.3 ENTREPISOS

Se denominan así aquellos que solamente en una construcción separan horizontalmente los diferentes niveles y que constituyen a la vez el piso de uno de ellos, y el techo del otro, un entrepiso puede constar de los siguientes elementos:

- a) **ESTRUCTURAS:** será esta parte el elemento resistente que deberá ser calculada con la suma de las cargas tanto vivas como muertas en una construcción.
- b) **PAVIMENTO:** será esta capa sometida directamente al desgaste, por lo que deberá seleccionarse siempre un material adecuado que estará en función del uso al que vaya a estar sometido.
- c) **CAPA AISLANTE:** puede exigirse en un entrepiso determinadas características de aislamiento, el cual podrá ser acústico, térmico o bien contra el fuego.

5.1.1.4 TABIQUES

Se denominan así aquellos elementos que en una construcción separan verticalmente los diferentes ambientes y que constituyen a la vez tabiques de madera entre uno y otro. Puede estar sólo constituido con la estructura de madera, y el recubrimiento de cualquier otro material.

¹ Tomado de referencia No. 3.

5.1.1.5 PISOS DE MADERA

Se denominan pisos a la superficie horizontal o suelos de una habitación, que forman el material de desgaste. Los cuales deber ser no sólo resistentes, sino también rígidos, los pisos de madera son un excelente material para este uso en forma de duelas (duela se llama cada pieza de machihombre o parquet).

5.1.2 PUENTES²

Históricamente los puentes de madera fueron los primeros utilizados por la humanidad. En los Estados Unidos los primeros colonos construyeron puentes de madera que todavía hoy día permanecen en su sitio. El tipo más simple de puentes de madera consiste en elementos simplemente soportados sobre, los cuales se colocan piezas de madera una junto a otra formando el tablero. Otro tipo de puente combina la capacidad de la madera para resistir tracciones y la propiedad del concreto de resistir esfuerzos de compresión, obteniéndose una sección que actúa en acción compuesta.

Recientemente se han construido paneles prefabricados para tableros de puente los cuales consisten en piezas de 5 cm de ancho, encoladas y clavadas unas junto a otras formando paneles de hasta 1.20 metros de ancho los cuales se colocan sobre las vigas principales. En uno u otro tipo de puente, la madera debe ser tratada a presión con alguna sustancia protectora, de acuerdo con la práctica actual para las condiciones de intemperie a que estará sujeta la estructura. Además, las partes de piezas ya tratadas, que hubiesen quedado expuestas por cortes en el campo, deben recibir un tratamiento de protección adecuado para hacerlas tan duraderas como el resto de la estructura.

5.1.2.1 COMPONENTES DE UN PUENTE

La estructura de un puente se puede dividir en dos partes a saber: superestructura y subestructura.

La subestructura está compuesta por los elementos que soportan el puente tales como bastiones y pilas, los cuales en el caso de puentes de madera pueden ser de concreto o formados por pilotes rematados con una viga de madera o con un cabezal de concreto.

Por su parte la superestructura está compuesta por el tablero o piso y la estructura que a la vez soporta el tablero.

5.1.2.2 SUPERESTRUCTURA

Las superestructuras de madera se pueden clasificar en cuatro tipos: caballetes, vigas, armaduras y arcos.

Para el diseño de puentes de madera para carreteras generalmente se utilizan las recomendaciones de la AMERICAN ASSOCIATION STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIAL (A.A.S.H.T.O) y para puentes ferroviarios las de la AMERICAN RAILWAY ENGINEERING ASSOCIATION (A.R.E.A).

5.1.2.2.1 PUENTES SOBRE CABALLETES

Este, probablemente, es el tipo más simple de puente de madera y consiste en largueros apoyados sobre pilotes, que a la vez sirven de cimiento y columna. Los pilotes son rematados con una viga de madera de 30 x 30 cm o con un cabezal de concreto, sobre el cual se apoyan los largueros debidamente sujetos. Los largueros son diseñados como vigas simplemente apoyadas,

² Tomado de referencia No. 5.

bajo las cargas recomendables por A.A.S.H.T.O o A.R.E.A., y el espaciamiento es determinado por la luz y las condiciones de carga. Al final de los largueros se colocan diafragmas lo mismo que en el punto medio de la luz y si es el caso en los puntos tercios. Los puentes de caballetes son económicos en luces de 4 a 8.5 metros.

5.1.2.2.2 PUENTES DE VIGAS

Los puentes de vigas consisten en vigas laminadas y encoladas o vigas de madera sólida, sobre las cuales se coloca el tablero del puente, pudiéndose usar este tipo de puentes en aquellos casos donde no es práctico el uso de caballetes o donde no es deseable el uso de armaduras. El tipo de subestructura que generalmente se usa en este tipo de puente es similar a la que se usa en los puentes de caballetes o sea pilotes rematados con un cabezal, sobre el que se fijan las vigas. Las vigas son una solución usada en claros de 7.5 a 22.5 metros.

5.1.2.2.3 PUENTES DE ARMADURAS

Los puentes de madera a base de armaduras pueden ser de dos tipos: puentes de armaduras de paso superior en que las armaduras están bajo el tablero del puente y puentes de armadura de paso inferior en que el tablero del puente se apoya sobre dos armaduras laterales paralelas. El uso de armaduras de paso inferior puede estar limitado por la necesidad de espacio bajo el puente. En ambos casos las armaduras pueden ser de forma constante, con las cuerdas paralelas o con peralte variable siendo esta última la solución más económica usualmente. La subestructura de los puentes de armaduras son similares a las descritas para otros puentes, sin embargo; dado que las cargas son mayores y están ubicadas en los extremos de la armadura deberá proporcionarse un mejor sistema de arriostamiento a la pilas y bastiones. Para claros grandes podrán usarse subestructuras de madera, piedra o concreto reforzado. En la práctica se han construido armaduras de hasta 35 metros de longitud.

5.1.2.2.4 PUENTES DE ARCO

Cuando las condiciones del sitio son tales que se requiere un altura considerable desde la fundación hasta la rasante de la vía o se requiere salvar un claro relativamente largo, un puente de arco puede ser económico por la eliminación de la subestructura, pudiendo ser de dos goznes para claros cortos y de tres goznes para claros largos.

5.1.2.3 SUBESTRUCTURA

El tipo de subestructura a utilizar en un puente de madera dependerá fundamentalmente de dos factores: vida útil y longitud del claro.

Los bastiones y pilas para este tipo de puentes podrán ser de piedra, concreto masivo, concreto armado y también de madera. La decisión de utilizar una subestructura de madera para puentes de este mismo material estará determinada inicialmente por la longitud de los tramos del puente ya que no se recomienda el de subestructuras de madera para luces mayores a 10 metros; debido al peso de las superestructura y a la cargas del tráfico de vehículos. Para luces menores a 10 metros se podrán utilizar pilas y bastiones de madera u otro material, quedando la decisión sujeta a aspectos tales como costo, vida útil y posibilidades de sustitución de la superestructura inicial por otro de diferente material, en cuyo caso no es recomendable el uso de la madera.

5.1.3 EDIFICIOS³

En los recientes años han habido muchas construcciones de estructuras de madera como: domos, arcos y estructuras rígidas de madera laminada, usando ensamblajes largos para salones, gimnasios, arenas deportivas y armaduras para arcos, postes convencionales y vigas estructurales de madera laminada o madera sólida para grandes techos y edificios industriales.

Se han diseñado estructuras para grandes techos o entrepisos para depósitos de granos, azúcar y otros, también para iglesias y otras edificaciones. En lo que respecta a los avances del plywood se han llegado a construir superficies estructurales, techos prismáticos y paraboloides hiperbólicos que han sido usados para cubrir superficies grandes, creando espacios libres de columnas. En combinación con vigas sólidas o laminadas el plywood ha sido utilizado para crear sistemas de pisos, y vigas I o secciones de caja para vigas de largas luces.

El diseño en madera no está limitado por la longitud, está abierto para ideas imaginativas.

Existen dos tipos de diseño para la madera: el usado para madera laminada, con éste se pueden crear planchas de pisos, vigas, vigas I y columnas para edificios. Estas son diseñadas usando varios tamaños y combinaciones disponibles en el mercado.

El costo de esta estructura es reducida por varios planes posibles de estudio y por procedimientos de construcción de las vigas y el segundo diseño en las construcciones usa la combinación del plywood y la madera usada proveniente de paneles de piso, vigas de cajón para sistemas de piso.

Las secciones sólidas de madera son usadas para columnas.

La primera forma de diseño, el levantado y la secuencia de construcción de las vigas es estudiado en un orden que reduzca el costo de la estructura.

5.2 OBRAS FALSAS⁴

5.2.1 FORMALETAS

Los materiales más usados en la construcción de formaletas son: madera y plywood.

Prácticamente todos los trabajos de formaleta, no importando la forma que tengan, necesitan del auxilio de la madera. Este ha sido el material que por fácil manejo y trabajabilidad ha tenido mayor aceptación en todos los trabajos de construcción.

Hay varias clases de madera que pueden usarse, pero éstas varían en grado, tamaño y largo, en cada país. Cualquier clase puede usarse para la construcción de formaletas, pero existiendo maderas suficientemente resistentes y de bajo costo, se ha preferido el uso de éstas.

En Guatemala, la madera que más aceptación tiene para cualquier trabajo, es el pino. Debe tenerse especial cuidado al comprarlo, ya que debe ser "Término medio", esto es muy importante porque cuando se encuentra totalmente seco, su expansión al mojarse es demasiado grande, y cuando está demasiado verde, se contrae con mucha facilidad, dificultando así su colocación y su alineamiento, sobre todo en tiempo de calor.

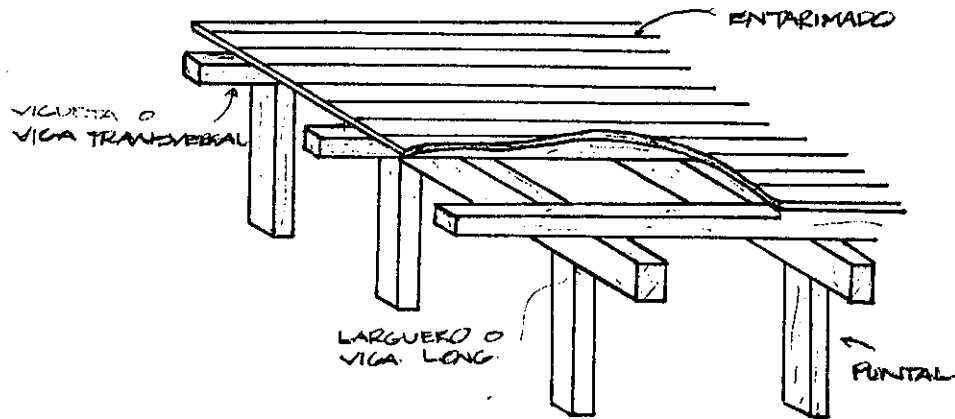
³ Tomado de referencia No. 5.

⁴ Tomado de referencia No. 3.

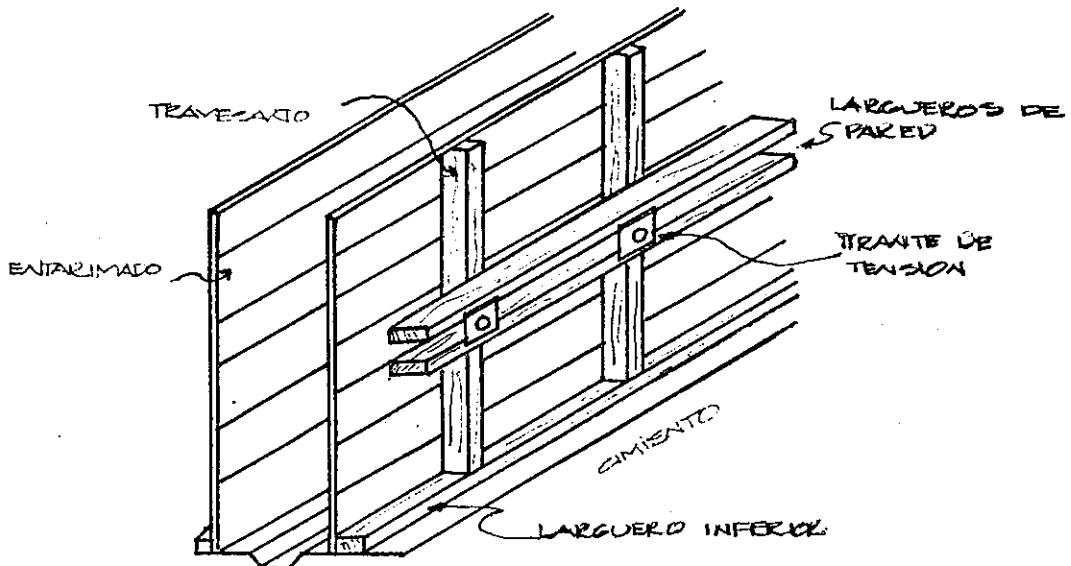
travesaños en formaletas verticales de pared y viguetas o vigas transversales en formaletas horizontales de losas.

Los travesaños se encuentran soportados por miembros horizontales llamados largueros, y las viguetas por miembros también horizontales, llamados vigas. Los largueros a su vez están soportados por miembros en tensión llamados tirantes o varillas de tensión y las vigas por miembros en compresión llamados puntales, puntales o postes.

Todo el conjunto estará al final reforzado por miembros inclinados o riostras y asegurado por medio de cables anclados a un lugar firme y seguro. De estos elementos que forman un entarimado completo, todos, menos los puntales y tirantes actúan estructuralmente como vigas; algunos en posición vertical y otros en posición horizontal, teniendo cada una, diferente clase de soporte.



PARTES TÍPICAS DE UNA FORMALETA DE LOSA



PARTES TÍPICAS DE UNA FORMALETA DE PARED
FIGURA 5.2

5.2.1.4 FORMALETA PARA VIGAS

Las formaletas para vigas, al igual que las de losas deben soportar cargas verticales y presiones laterales debidas al concreto fresco, igual que en las formaletas de paredes. En adición a estas cargas se encuentran las que son transmitidas de la losa a la viga, siendo todas ellas soportadas por los puntales.

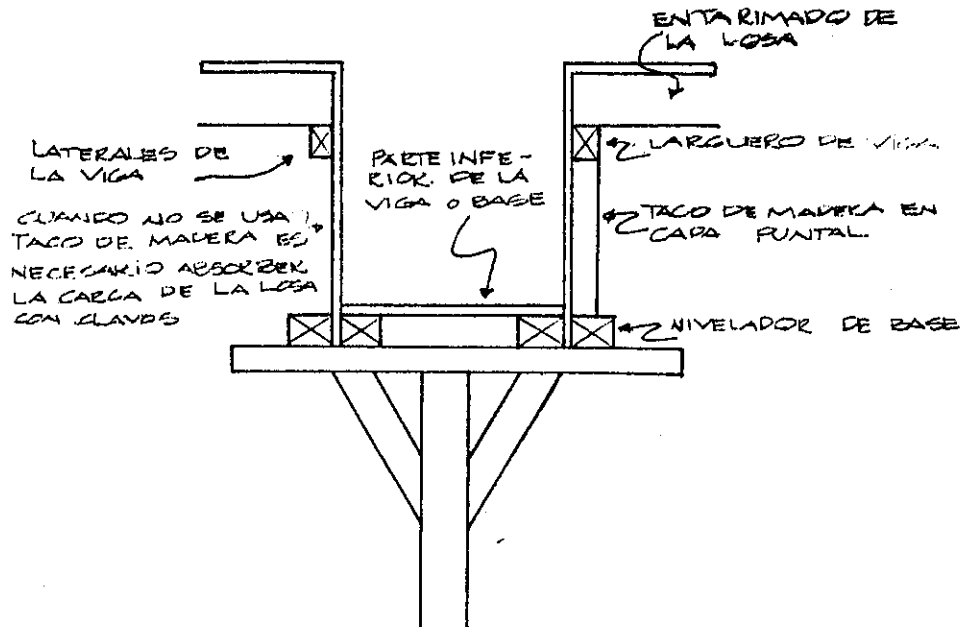
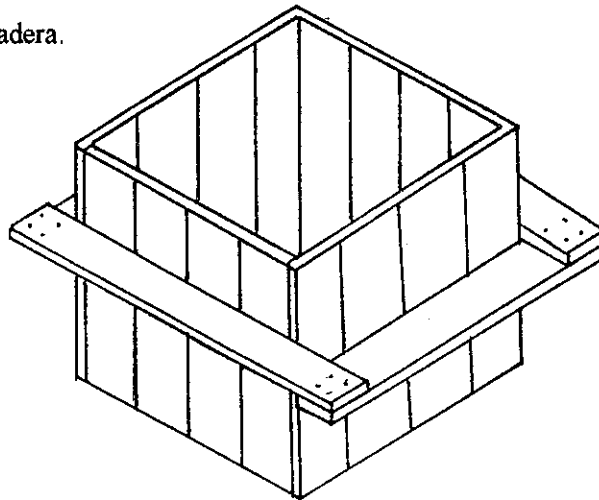


FIGURA 5.3

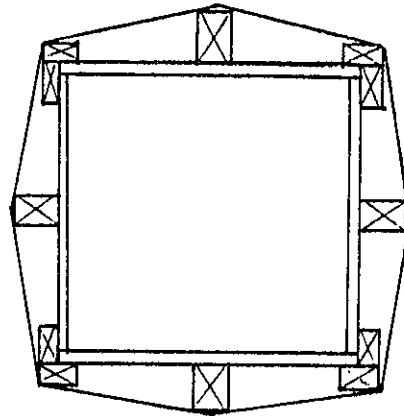
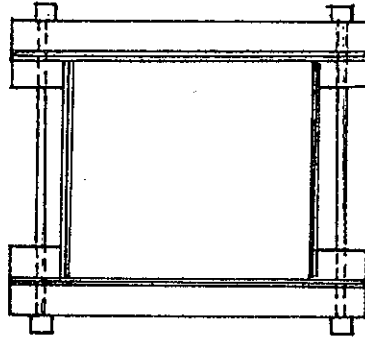
5.2.1.5 DIFERENTES TIPOS DE FORMALETA PARA COLUMNAS

Se presentan a continuación algunas de las formas más usadas para la construcción de formaletas de columnas.

Entarimado de madera.



Entarimado de plywood.

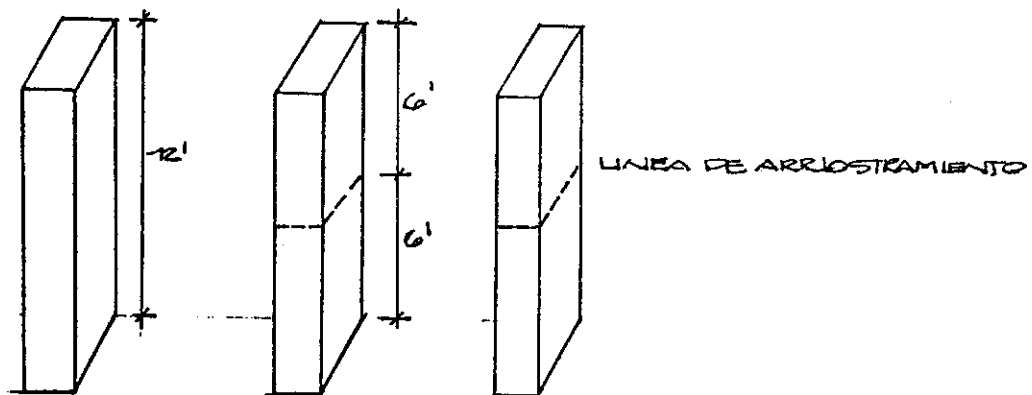


Entarimado de madera (abrazaderas con cinchos de acero)

FIGURA 5.4

5.2.1.6 PUNTALES SIMPLES DE MADERA

Los puntales simples de madera son diseñados como columnas sólidas, en las cuales la capacidad de carga está en función de su relación de esbeltez.



PUNTALES CORRIENTES

FIGURA 5.5

5.2.1.7 FORMALETAS PARA CIMIENTOS

En los cimientos generalmente no importa la apariencia del acabado, puesto que éstos se encuentran siempre bajo la tierra, así pues los materiales que se usen pueden ser piezas ya usadas anteriormente, pero que se encuentren en buen estado para evitar problemas de rajaduras o roturas que ocasionarán desperdicio de concreto y de tiempo.

Muchas veces en los cimientos se hace caso omiso de las formaletas prefabricadas, fundiéndose el concreto directamente en la excavación.

Cuando esto se hace es recomendable colocar una pequeña formaleta de unas 4" (10 cm) de alto sobre el nivel de la tierra y alrededor de la excavación, para evitar que el agua penetre en el lugar donde se le colocará el concreto y produzca derrumbes, destruyendo así el trabajo que se ha tenido al excavar con cuidado para que las paredes sirvan de formaleta.

5.2.1.8 CIMIENTOS DE PAREDES

En terrenos duros o firmes debe aprovecharse la ventaja de que la tierra se sostiene sola y hacer la excavación del ancho necesario para el cimiento, ya sea a mano o con excavadora mecánica, usando así la zanja como formaleta.

Si el terreno es poroso o suave, la excavación se hará más ancha de lo necesario para poder colocar una formaleta de madera o de metal con sus respectivos apoyos laterales, los cuales no requieren ningún diseño, ya que la presión del concreto es relativamente baja.

El tablero o encofrado para un lado de la formaleta deberá alinearse y nivelarse cuidadosamente, colocando estacas verticales clavadas al tablero y cada una de ellas con su respectiva riostra apoyada al terreno.

Una vez hecho esto, la otra cara de formaleta se colocará fácilmente alineándola con separadores y manteniéndola en su posición por medio de estacas, colocadas cada una a 6 pies aproximadamente. Cuando el terreno es muy profundo y el terreno bastante malo, es necesario reforzar y atirantar la formaleta perfectamente, convirtiéndose así en una formaleta de pared.

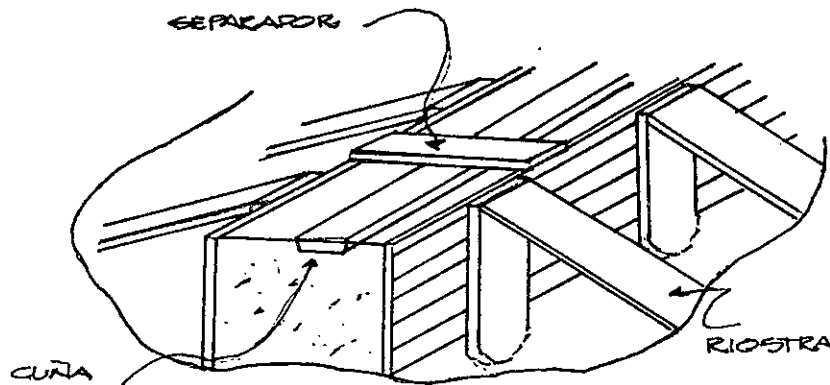
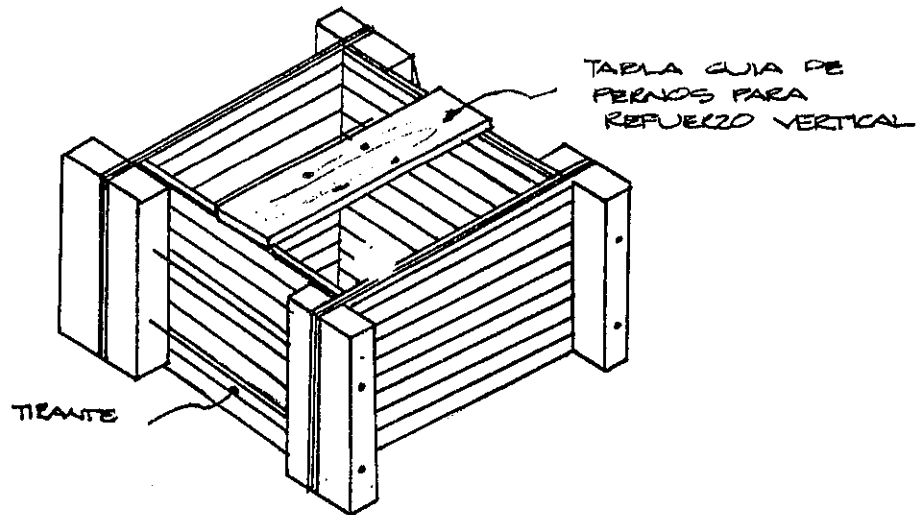


FIGURA 5.6

5.2.1.9 CIMIENTOS DE COLUMNAS

Las formaletas para cimientos de columnas rectangulares o cuadradas son simplemente cajones contruidos en cuatro secciones, de las cuales dos de ellas se hacen de la dimensión exacta de la base y las otras dos un poco más largas para que sirvan de soporte a las anteriores. En algunos casos cuando los cimientos son muy grandes, es necesario usar tirantes para evitar que los laterales se deformen.



Formaleta para cimiento de columna.

FIGURA 5.7

5.2.1.10 RIOSTRAS Y ANDAMIOS

Todos los miembros que se usen para riostras o andamios deberán ser rectos, sin tener combas o fallas que puedan provocar un rompimiento de la pieza.

Con respecto a los andamios, deben de construirse con tablon de 2" (5.08cm) de grueso mínimo, con un ancho total no menos de 24" (60.96cm) y clavados perfectamente a las viguetas o puntales que los soportan. La construcción de andamios y la de formaletas deben supervisarse todo el tiempo para tener la seguridad que han sido construidas perfectamente, ya que de la buena construcción de formaleta depende la seguridad de la obra y de la buena construcción de andamios depende la seguridad de los operarios.

CAPITULO 6
CONSIDERACIONES DE DISEÑO

6.1 ESPECIFICACIONES¹

6.1.1 CARGAS DE DISEÑO

Debe entenderse por cargas de diseño a la integración del peso de todos los materiales que conformarán la estructura final (pesos fijos) y, el peso de todos los implementos y personas que harán que la estructura cumpla el objetivo para el cual será diseñada (pesos vivos). Se consideran, además, otros factores externos como el efecto del viento, sismo y el peso de la nieve.

6.1.1.1 CARGAS MUERTAS

Cargas de gravedad ocasionadas por el peso de los componentes estructurales y componentes de servicio fijo, como aire acondicionado, calefacción, sistema contra incendio, drenajes, etc.

6.1.1.2 CARGAS VIVAS

Son aquellas cargas de gravedad que no son aplicadas permanentemente, como gente, muebles, equipo de construcción, recipientes, etc.

Los códigos de construcción, típicamente, especifican las cargas vivas mínimas de techo y piso que deben ser usadas en el diseño de una estructura. Por ejemplo, el Uniform Building Code (UBC), tabla 23A, especifica las cargas unitarias vivas en libras por pie cuadrado para el diseño de sistemas de piso.

6.1.1.2.1 REDUCCION DE CARGAS VIVAS

PARA TECHO

El Uniform Building Code (UBC) describe dos métodos de cálculo. Ambos métodos se refieren a la tabla 23C del apéndice que determina la carga viva mínima para techos.

a) METODO 1

En esta tabla se dan directamente las cargas vivas unitarias para techos, tomando en consideración el área tributaria del miembro a diseñar. Por lo tanto, el primer paso debería ser la determinación de dicha área.

b) METODO 2

Este método es una adición reciente al código y permite al diseñador calcular la carga viva unitaria para techos como una función del área tributaria. Esta aproximación proporciona un rango continuo de cargas vivas, mientras que el metodo 1 provee cambios incrementales en las cargas vivas.

Este método calcula el porcentaje de reducción en la carga viva básica para techos como el menor de los valores:

$$R = r(A - 150) \quad (6.1)$$

$$R = 23.1 (1 + CM/CVT) \quad (6.2)$$

¹ Tomado de referencia No. 1.

R = máxima reducción permitida dada en UBC tabla 23C.

donde:

R = reducción en porcentaje

r = razón de reducción (porcentaje por pie² sobre 150 pies² dado en tabla 23C)

A = área tributaria del miembro considerado

CM,CVT = cargas muerta y viva para techo

Se debe anotar que estas cargas son aplicadas sobre el plano horizontal y estos dos métodos son independientes el uno del otro y no podran ser combinados.

PARA ENTREPISO

Estas cargas están basadas en la ocupación y uso de los edificios. Ninguna reducción es permitida donde las cargas vivas exceden 100 lb/pie² (486 kg/m²) o en lugares de reunión pública. Esto se debe a que es deseada una medida adicional de seguridad para estas estructuras.

No obstante, para la mayoría de estructuras con marcos de madera, las reducciones en las cargas vivas para piso serán permitidas así:

$$R = r(A-150)$$

$$R = 23.1 (1 + (CV/CVP))$$

R = 40% máximo para miembros horizontales o verticales recibiendo carga desde un nivel solamente

R = 60% máximo para otros miembros verticales.

Cargas de piso concentradas pueden ser distribuidas sobre un área 2 1/2 pies² (0.23 m²). Su propósito es considerar cargas miscelaneas de equipo no estacionario que pueden ocurrir.

6.1.1.3 CARGAS LATERALES

Son aquellas cargas que actúan en sentido perpendicular a la elevación del edificio como viento y sismo.

6.1.1.3.1 DE VIENTO

Cuando el viento sopla sobre un edificio, ejerce una presión a barlovento y una presión a sotavento. Al considerar los efectos del viento sobre las estructuras se debe tomar en cuenta la forma y área de superficie expuesta. Ciertas formas provocan reacciones mayores para iguales condiciones de viento.

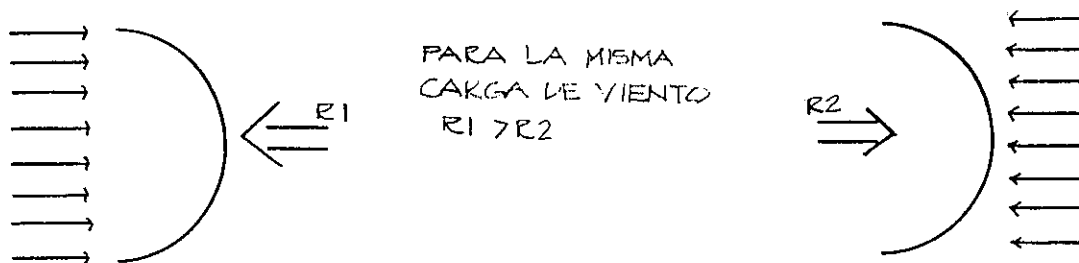


FIGURA 6.1

Superficies planas perpendiculares al viento generan un diafragma de presiones parabólico el cual se idealiza como una presión uniforme.

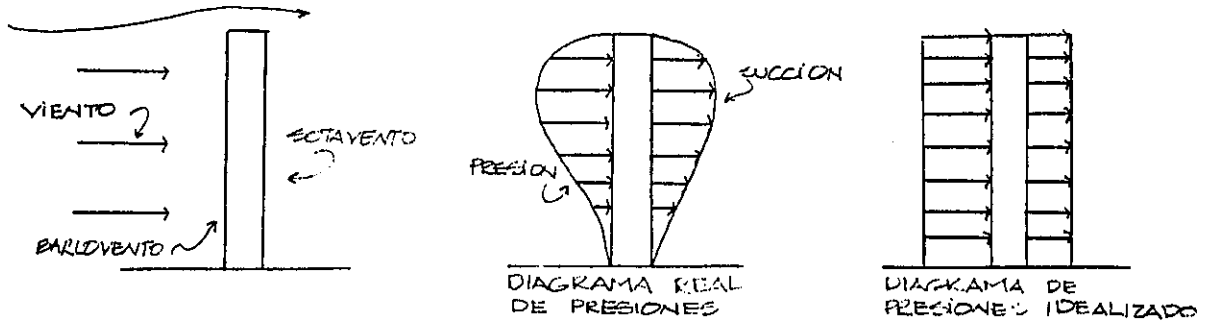


FIGURA 6.2

La presión del viento es calculada con la ecuación:

$$q = 0.0002558 \times V^2$$

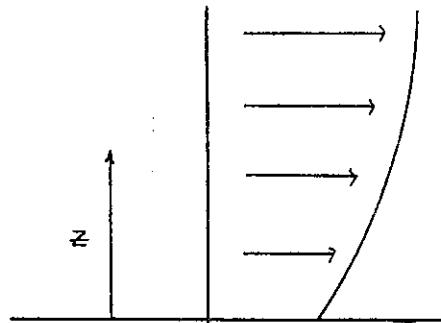
donde:

q = presión debida al viento en lb/plg²

V = velocidad del viento en millas/hr

La velocidad del viento depende y se calcula conforme la altura.

$$V_z = V_n(Z/n)^x$$



V_n = velocidad máxima del viento registrada
 ≈ 120 - 160 km/hr

$$x = 0.222$$

$$n = 30 \text{ pies}$$

Los siguientes datos sobre la presión promedio que pueden ser utilizados en Guatemala son tomados de la tesis del ingeniero A. Zea².

CUADRO 6.1

Z	hasta 60' (18.35 m)	más de 60' (18.35 m)
P	15 lb/plg ² (189 kg/m ²)	20 lb/plg ² (252 kg/m ²)

² Tomado de referencia No. 13.

La fórmula anterior es afectada por un coeficiente C que depende de la forma de la superficie vertical a barlovento como a sotavento y, se aplica independientemente a ambos lados. Para superficies planas perpendiculares al viento.

$$C \text{ para el lado de presión} = C_p = 0.8$$

$$C \text{ para el lado de succión} = C_s = 0.5$$

La reacción total de la estructura completa es calculada con un coeficiente C que es la suma de ambos coeficientes.

$$R = \text{presión} \times \text{área}$$

$$R = C \times q \times A$$

$$C_t = C_p + C_s$$

$$R = 1.3(0.002558)V^2 \times A \quad (6.6)$$

La reacción de los elementos en superficies verticales como ventanas, puertas, etc., es calculada con los coeficientes individuales dependiendo del lado en que se analice su efecto.

$$\text{barlovento } R = 0.8(0.002558)V^2 \times A \quad (6.7)$$

$$\text{sotavento } R = 0.5(0.002558)V^2 \times A \quad (6.8)$$

Para superficies planas inclinadas la presión es función de la pendiente en grados y para superficies curvas es función de la relación flecha - longitud (h/l).

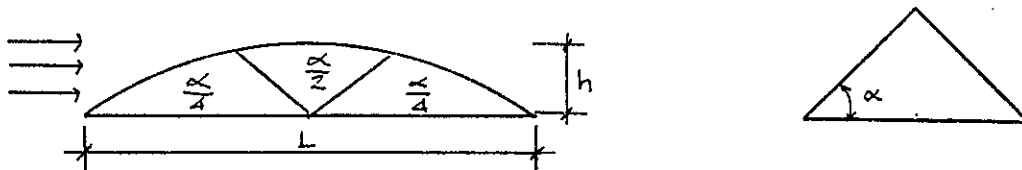


FIGURA 6.3

Todos los techos livianos y elementos como tragaluz deben ser diseñados para el levantamiento provocado por la succión y cuya magnitud varía con la inclinación. Para estructuras abiertas el factor C depende de la configuración de los muros. Los casos siguientes dan una idea de su conformación.

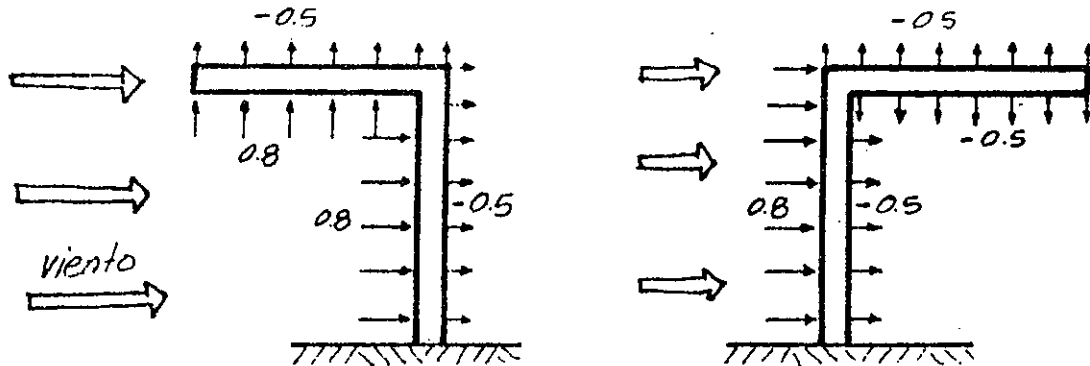


FIGURA 6.4

Distribución de viento según el Uniform Building Code:

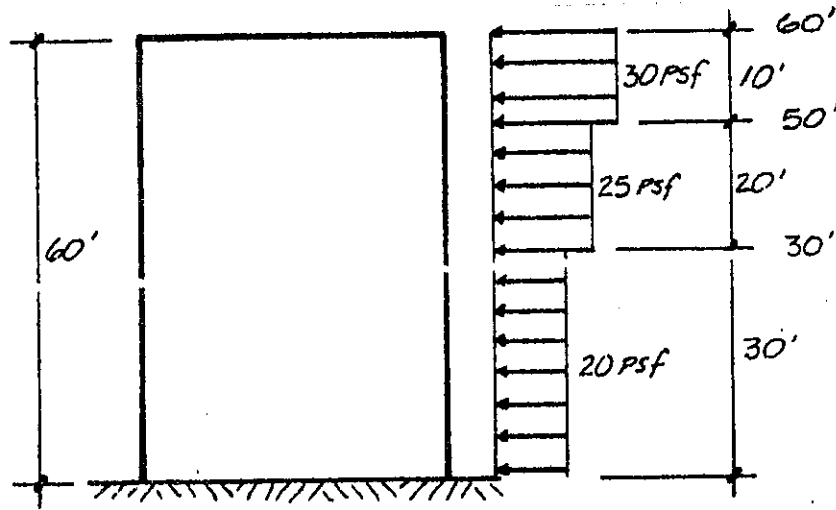


FIGURA 6.5

El UBC Cap. 23 tabla 23F describe una presión horizontal básica debida al viento. Esta presión básica es ajustada según la altura en varias zonas de presión. Las cargas de viento pueden actuar enteramente como una presión sobre la superficie de choque o como una succión en el lado contrario.

En el diseño de techos, los edificios con techos de inclinación moderada, simplemente usan la carga horizontal. No obstante cuando la inclinación del techo excede los 30° el techo debe ser diseñado para resistir una presión de viento hacia adentro, actuando normal al techo. La presión usada es la misma presión horizontal ajustada según la altura.

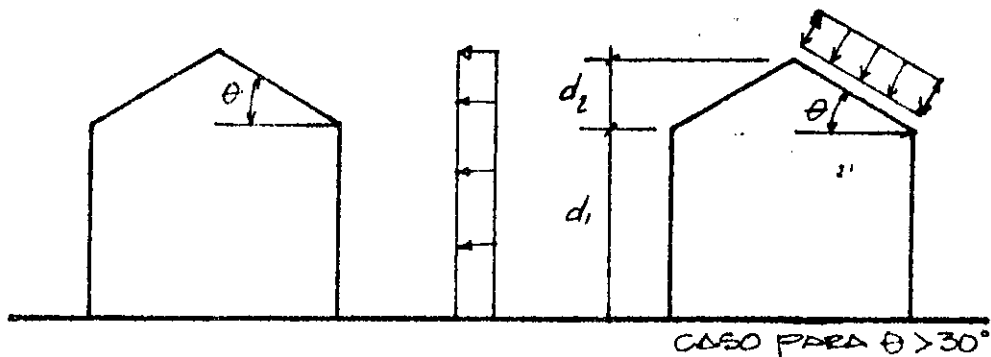


FIGURA 6.6

Otro aspecto importante es el posible efecto de levantamiento. Este término es usado para describir dos situaciones diferentes:

1. Al pasar el viento sobre el edificio una fuerza de succión puede ser generada.

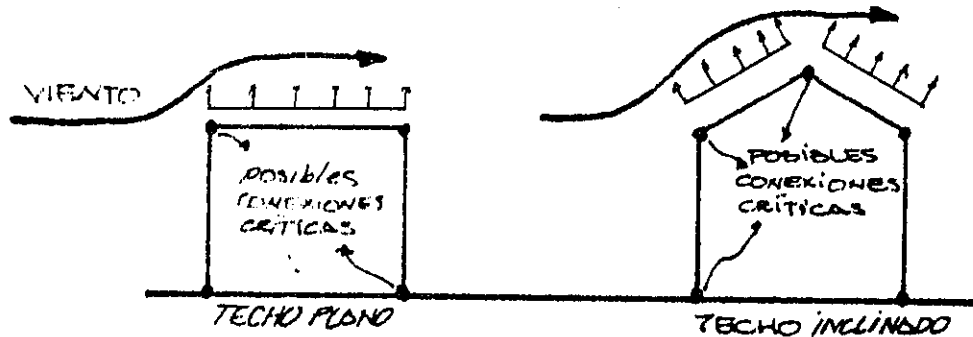


FIGURA 6.7

La magnitud de este efecto depende de varios factores, pero el UBC provee un valor de diseño muy simple. El levantamiento es tomado como un porcentaje de la presión de viento horizontal ajustada. El porcentaje depende de si el edificio es cerrado o abierto lateralmente.

75% para estructuras cerradas

125% para estructuras abiertas

La fuerza de levantamiento para un edificio se aplica a los saliente o voladizos de un edificio cerrado. En el caso de edificios abiertos y de estructuras con cargas muertas livianas, el diseño para levantamiento puede afectar el tamaño de los miembros. Conexiones y tamaño de las bases son los items que comunmente requieren especial atención aún si el tamaño de los miembros no es afectado.

2. Existe un momento de volteo MV en la estructura que es contrarrestado por el momento resistente MR . El código requiere que $2/3$ de MR sea mayor que MV . En otras palabras se requiere un factor de 1.5 para estabilidad por viento. Es importante indicar que en este chequeo de estabilidad una sobre-estimación de la carga muerta se considera no conservativa. En el caso de que MV sea mayor que MR , la estructura tendrá que ser atada a la fundación. Según la figura:

$$MV = P \times h$$

$$MR = W \times l$$

$$\text{factor} = 1.5 \quad MV > (2/3)MR$$

$$MV' = MV - (2/3)MR$$

$$\text{fuerza de levantamiento} = T = MV'/b \quad (6.9)$$

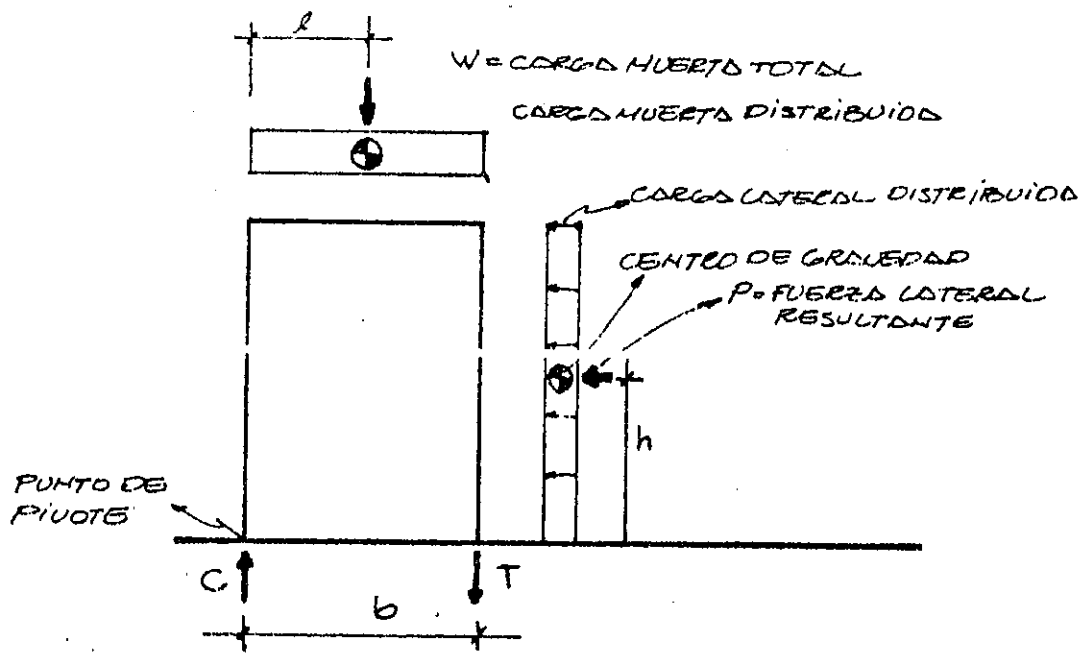


FIGURA 6.8

6.1.1.3.2 DE SISMO

Según el Código de Diseño Sísmico, propuesto por la Universidad de Stanford de California, para Guatemala: Cada edificio será diseñado y construido para resistir una fuerza lateral por sismo mínimo actuando, no simultáneamente, en la dirección de cada uno de los ejes principales de la estructura de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V = A \times D \times B \times Q \times W \quad (6.10)$$

A es tomado de la tabla C-1

D es tomado de la gráfica C-2

B es tomado de la tabla C-2

Q es tomado de la tabla C-3

W es el peso total del edificio y, pueden aplicarse porciones aplicables como: particiones, equipo permanente y para almacenes y bodegas, un mínimo de 25% de la carga viva de piso.

La fuerza que se aplicará a cada nivel será:

$$F_x = [(V - Ft)W_x \times h_x] / \sum_{i=1} W_i \times h_i \quad (6.11)$$

donde

$$F_t = 0.07T \times V \leq 0.25V$$

si $T \leq 0.7$ segundos -----> $F_t = 0.02$

6.1.2 FACTORES

La teoría para el cálculo de estructuras se basa en varias condiciones o hipótesis que presuponen un comportamiento ideal de los materiales estructurales. Debido a que estas condiciones no se cumplen en los rangos de análisis respectivos a cada condición, se hace necesario echar mano de la información experimental, proporcionada por las diferentes organizaciones investigadoras, contenida en los diferentes códigos de construcción.

Uno de los resultados de estas investigaciones se concreta en diferentes factores (reductores-multiplicadores) que se aplican a varias características de los materiales y los factores externos que las afectan.

6.1.2.1 FACTOR DE TAMAÑO (CF)

Es un factor que se aplica regularmente a miembros estructurales sometidos a flexión y se aplica al esfuerzo permisible tabulado en los códigos o directamente a las cargas aplicadas.

Miembros a flexión poco profundos son definidos como aquellos con una profundidad de 12" (30.48cm) o menos. Para estos miembros $CF = 100$. Si la profundidad se incrementa sobre este límite, la capacidad de momento de un miembro a flexión disminuye de lo estipulado por la teoría de flexión ordinaria. El factor de tamaño es usado para ajustar (reducir) las tablas de esfuerzos de flexión permisibles para vigas mayores de 12" (30.48cm) de peralte.

La teoría de flexión ordinaria dice que la capacidad de momento permisible de un miembro a flexión es igual a tantas veces el valor del esfuerzo permisible (F_b) como el módulo de sección (S).

$$M_p = F_b \times S \quad (6.12)$$

Esta expresión es válida para miembros flexionados de peralte de 12" (30.48cm) o menos ($d \leq 12"$). Cuando $d > 12"$ ($d > 30.48\text{cm}$) el CF es usado para valorar la reducida capacidad de momento.

Por lo tanto:

$$f_b = M/S \leq F_b \times C_f \quad (6.13)$$

$$C_f = (12/d)^{1/9} \quad (6.14)$$

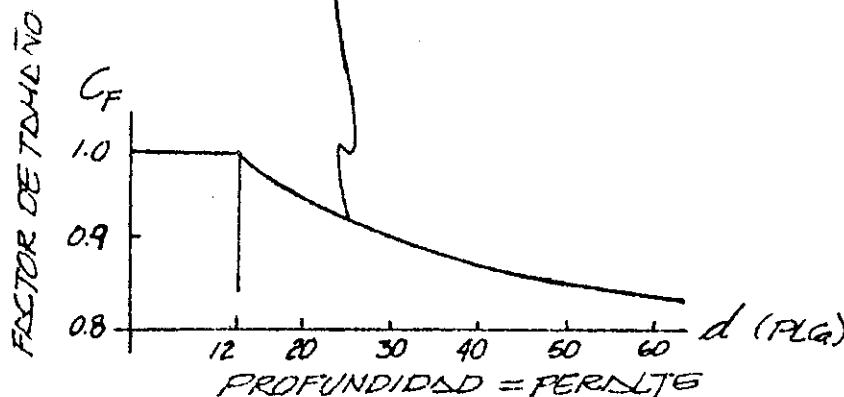


FIGURA 6.9

Esta expresión se aplica a vigas, las cuales cumplen los criterios siguientes:

1. El miembro es simplemente soportado
2. La carga es uniformemente distribuida
3. La relación luz/peralte es igual a 21

Este factor puede ser refinado y determinado cuando se requiere en algunas circunstancias. El procedimiento para esto es dado en el NDS (National Design for Wood Structures) Secc. 5.3.4; así como en UBC (Uniform Building Code) Cap. 25.

$$CF = 0.81 \times [(d^2 + 143)/(d^2 + 88)]$$

6.1.2.2 FACTOR DE FORMA (Cf)

Los esfuerzos permisibles tabulados y aquellos que han sido ajustados por el factor de tamaño, se aplican a elementos flexionados de sección transversal rectangular. Este factor es acumulativo con el factor de tamaño, lo que significa que si una viga con una sección transversal no rectangular tiene un peralte mayor de 12" (30.48cm), el esfuerzo de flexión permisible será:

$$Fba = CF \times Cf \times Fbp$$

Estos factores se usan solamente en ajuste del esfuerzo flexionante permisible y no para otros esfuerzos. ver UBC-25.

Para vigas hasta 12" (30.48cm) de peralte:

$$CF = 1 - 0.07 [(d/2)^{1/2} - 1] \text{ en pulgadas}$$

6.1.2.3 FACTOR DE CONDICION DE USO DE LA MADERA (CUF)

La humedad contenida en la madera puede incrementar o disminuir dependiendo de las condiciones locales. Las propiedades resistentes son afectadas según el contenido de humedad y los esfuerzos permisibles, tabulados en códigos y que son aplicables a un grupo específico de condiciones de ser ajustadas. La resistencia de la madera aumenta al disminuir el contenido de humedad por lo que se pueden aumentar los esfuerzos básicos. Sin embargo, el incremento de esfuerzos es a veces contrarrestado por la aparición de defectos de desecación en piezas de grueso mayor de 10 cm.

Los esfuerzos de la tabla 2.1 son aplicables a madera verde y poco sazónada (todos los tamaños) y a madera seca al aire (para piezas mayores de 10 cm de grueso).

Para madera seca al aire de grueso menor que 10 cm. (4") que se use, continuamente, se permite incrementar los esfuerzos permisibles de flexión o tensión paralela a la fibra.

El factor de corrección (correspondiente al grado estructural de la madera o bien el que se deduzca con base a los defectos presentes en la madera) puede incrementarse en un medio (0.5) de su exceso sobre el valor de 50%.

Para compresión paralela a la fibra, los defectos de secado tienen menor influencia y se permite hacer un incremento anterior señalado para flexión y tensión paralela a la fibra.

Para compresión perpendicular puede incrementarse en 50% los esfuerzos básicos.

Para esfuerzos de corte, se toma en cuenta el efecto de grietas y venteaduras tanto en madera verde como en madera seca al aire.

Para piezas de 2.5 o 5 cm. de grueso al menos de 15% de humedad y utilizadas en un ambiente seco se permite aumentar los valores de esfuerzos básicos en un 25%. Este incremento es aceptable en sustitución de los incrementos anteriores, pero nunca como adición a ellos.

CUF es un factor que, colectivamente, se refiere a cualquier factor relacionado con el contenido de humedad. Puede ser necesario considerar el CUF en diferentes etapas:

1. En la preparación de las piezas de madera
2. Al momento de su uso
3. En las piezas en servicio

El contenido de humedad de equilibrio (CHE) es una de las condiciones que puede variar. Este contenido oscila entre 7 y 19 por ciento.

6.1.2.4 FACTOR DE DURACION DE CARGA (LDF)

La madera posee la característica favorable de absorber sobrecargas de considerable magnitud en periodos cortos o pequeñas sobrecargas en periodos largos. Esta característica única de la madera es utilizada en el diseño estructural incrementando sus esfuerzos de trabajo, de acuerdo a la duración de la carga, siendo significativo cuando las cargas son temporales.

En condiciones de carga normal se contempla la aplicación completa de la carga de diseño normal máxima para una duración de aproximadamente 10 años o el 90% de la misma en forma continua durante la vida de la estructura sin menoscabo del factor de seguridad.

La figura 6.10 muestra la curva (duración de carga-LDF).

La tabla 6.2 indica como los esfuerzos de trabajo pueden ser incrementados para cargas de corta duración.

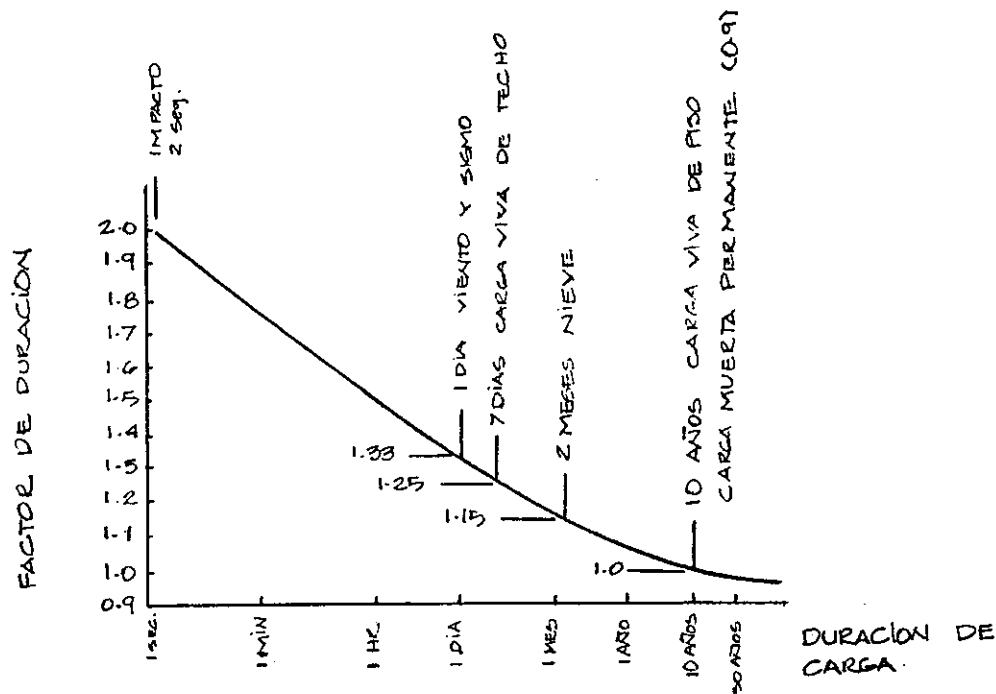


FIGURA 10

CUADRO 6.2

CARGA O COMBINACION	FACTOR
SOLO CARGA MUERTA	0.90
MUERTA + VIVA DE PISO	1.00
MUERTA + VIVA DE TECHO	1.25
MUERTA + VIENTO O SISMO	1.33
IMPACTO	2.00

Otros factores de ajuste, menos comunes, son considerados debido a tratamientos para retardar la acción del fuego que generalmente reduce la resistencia en un 10%; cuando las piezas de 2" a 4" (5.08 a 10.16 cm) de grosor son flexionados sobre su eje menor se puede usar un factor que incrementa los esfuerzos permisibles.

6.1.3 DISEÑO DE VIGAS

El diseño de vigas de madera aserradas rectangulares y vigas laminadas rectangulares, rectas o levemente curvadas, sigue el mismo procedimiento básico usado en el diseño de vigas de otros materiales estructurales. Los factores que se necesitan considerar son:

1. Esfuerzo en fibra externa de la sección transversal por flexión incluyendo estabilidad lateral
2. Corte vertical y horizontal
3. Deflexión
4. Aplastamiento o compresión perpendicular a la fibra

Las tres primeras condiciones pueden gobernar el tamaño del miembro de madera. La 4ta. condición debe ser considerada en el diseño de los soportes. En muchas vigas, el esfuerzo de flexión es la condición crítica de diseño, por esta razón, a menudo se obtiene un tamaño de prueba en los cálculos del esfuerzo para flexión; las condiciones restantes son simplemente revisadas con el tamaño de prueba. Si el tamaño de prueba es inadecuado para cualquiera de las otras condiciones el diseño es revisado.

6.1.3.1 LUCES

Para vigas simples la luz a cubrir es la distancia entre rostros adyacentes de los soportes, más 1/2 de la distancia de apoyo en cada extremo. Las vigas continuas tendrán una luz igual a la distancia entre centros de apoyo en los soportes sobre los cuales la viga es continua.

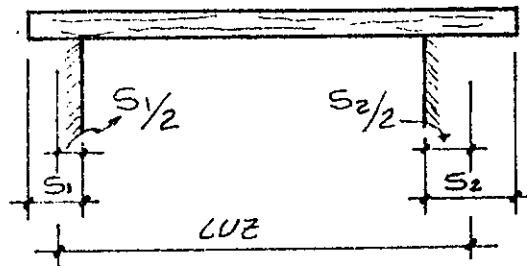


FIGURA 6.11

6.1.3.2 NUDOS O CORTES EN VIGAS

Los cortes para acomodar tuberías y otros elementos deberían de ser evitados en tanto sea posible. Su localización crítica es la zona de tensión. Por otro lado una concentración de esfuerzos se desarrolla alrededor, siendo mayores en un corte cuadrado o nudo semejante.

El NDS recomienda que la profundidad máxima de un corte o nudo no excederá $1/6$ del peralte y que no estará localizado en el tercio central del elemento y se aplica principalmente a vigas simplemente soportadas debido al alto esfuerzo en esa área. Adicionalmente el NDS prohíbe los cortes o nudos en el lado de tensión en vigas cuando el ancho nominal es 4" (10cm) o mayor. Esto debería ser como un recordatorio del peligroso potencial que puede ser creado por concentraciones de esfuerzos debido a esquinas reentrantes. Se sabe de fallas localizadas a alguna distancia del punto de máxima flexión y con una carga considerablemente menor que la carga de diseño.

El UBC, como una guía, establece que el esfuerzo flexionante en un nudo o corte será calculado asumiendo que hay otro igual en el extremo opuesto de la viga. Así, el módulo de sección (S) sería evaluado usando el peralte, menos dos veces la profundidad del nudo.

Si a pesar de lo anterior se encuentran nudos o cortes en el tercio central de la viga, el peralte neto (d') debe de ser usado al determinar el esfuerzo de flexión.

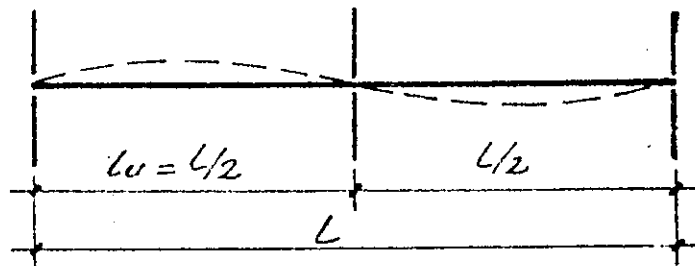
6.1.3.3 ESTABILIDAD LATERAL

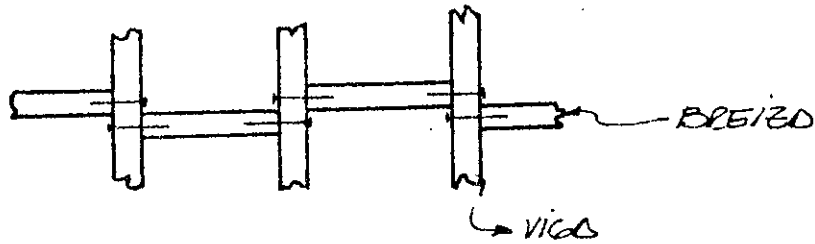
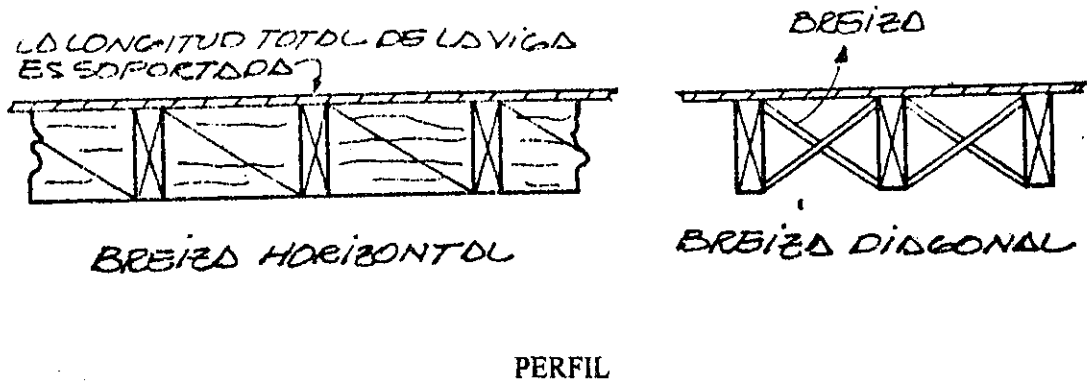
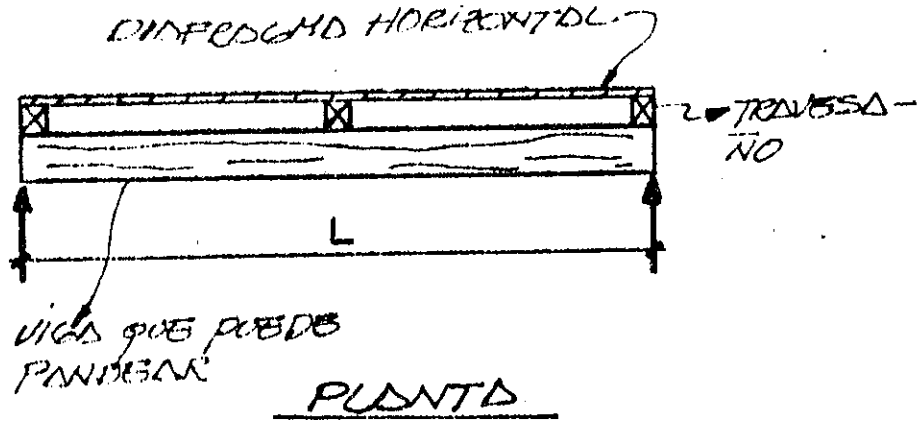
Si la zona en compresión de una viga no está soportada contra el movimiento lateral el miembro puede panderarse aún para esfuerzos flexionantes que el ajustado permisible. Dicha inestabilidad lateral ocurre entre los puntos de soporte lateral. Este fenómeno puede evitarse proveyendo de soporte lateral el lado de compresión a intervalos adecuados. Los tableros para techo o piso, colocados directamente encima de estos miembros, proveen un soporte lateral continuo haciendo que la longitud no soportada tienda a cero. Un factor que incrementa el pandeo de las vigas es la esbeltez de la sección transversal. Miembros de este tipo tienen un valor grande de relación peralte-espesor (d/b). El NDS secc. 4.4.1 y UBC cap. 25, describe dos métodos para estabilidad lateral de miembros flexionantes.

Uno de los métodos se basa en la relación peralte-espesor (d/b) de la sección transversal. Este método toma en cuenta el factor de esbeltez C_s y, considera la distancia entre puntos de soporte lateral en el lado de compresión de la viga. Este método es desarrollado para vigas largas laminadas pero se aplica igualmente a vigas aserradas. El factor C_s mide la tendencia al pandeo lateral entre puntos de soporte lateral en el lado de compresión del miembro.

$$C_s = [(L_e \times d)/b^2]^{1/2} \text{ dimensiones en plg. (6.15)}$$

C_s es usado como la longitud efectiva no soportada verticalmente de una columna. Para vigas L_e depende de las condiciones extremas y el tipo de carga. La L_e es obtenida multiplicando L_u por el factor de longitud efectiva (mostrados arriba).

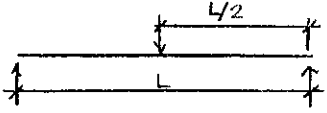
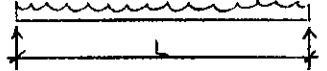
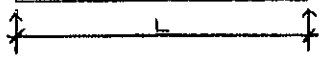
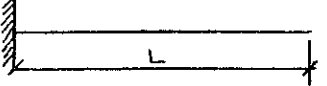
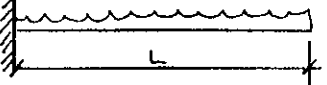




PLANTA
FIGURA 6.12

El factor de esbeltez es usado para calcular un reducido esfuerzo de flexión permisible. El esfuerzo de flexión permisible puede ser ploteado contra el factor de esbeltez ver fig. 6.13.

CUADRO 6.3

tipo de viga y carga	Le
	1.61 Lu
	1.92 Lu
	1.84 Lu
	1.69 Lu
	1.06 Lu

1.92 Lu es un valor conservativo para todos los casos.

Tres diferentes segmentos de esfuerzo permisible son definidos por los siguiente rangos de Cs:

$0 < C_s \leq 10$ vigas cortas no soportadas lateralmente

$$F'b = F_b \times (FDC) \quad (6.16)$$

$10 < C_s \leq C_k$ vigas intermedias no soportadas lat.

$$F'b = F_b \times (FDC) \times [1 - 1/3 \times (C_s/C_k)^4]$$

$C_k < C_s \leq 50$ vigas largas no soportadas lateralmente

$$F'b = 0.4 E/C_s^2 \quad (6.17)$$

donde

$$C_k = [35/5F_b]^{1/2} \quad (6.18)$$

F'b = esfuerzo de flexión permisible considerando los efectos de inestabilidad lateral.

Según la gráfica ninguna reducción al esfuerzo flexionante permisible tabulado es requerida en el rango corto. En el rango largo se hace uso de una fórmula de pandeo tipo Euler, que depende de la rigidez de la viga. Para el rango intermedio una fórmula de transición es usada.

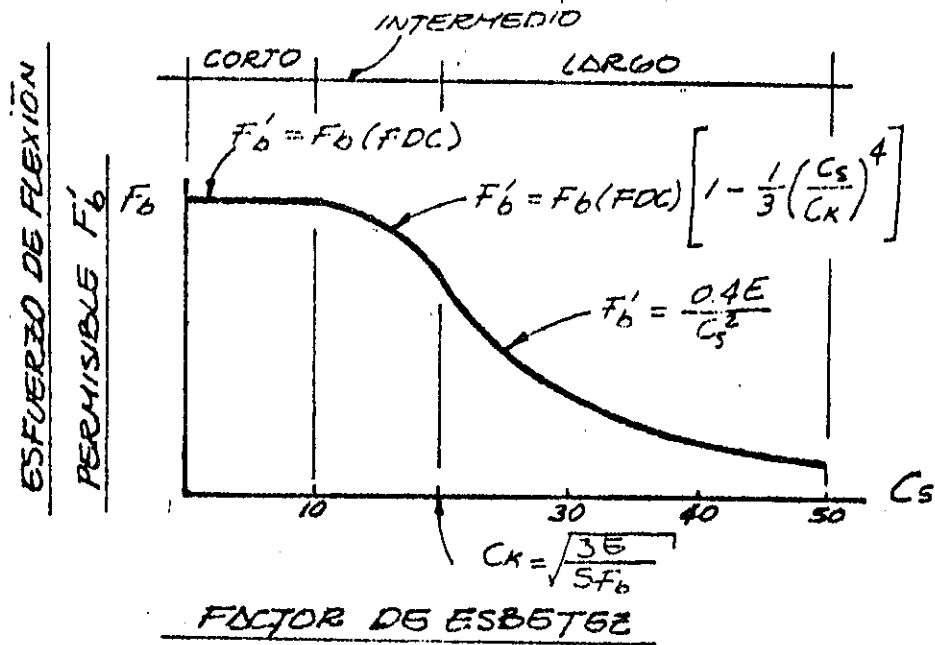


FIGURA 6.13

Un aspecto importante es la consideración del efecto de tamaño que es considerado en un chequeo independiente sobre el esfuerzo de flexión. El efecto de tamaño ($d > 12"$) es un chequeo independiente y separado, por consiguiente, el esfuerzo flexionante que resulte menor es el usado en el diseño del miembro.

6.1.3.4 FLEXION

Se debe hacer notar que los esfuerzos por flexión en la madera son bien resistidos si éstos ocurren paralelos a la fibra, no siendo así si son perpendiculares a ella. En este último caso tales condiciones no son permitidas.

El chequeo para esfuerzos de flexión en una viga de madera se hace por medio de la fórmula:

$$f_b \leq F_b \quad (6.19)$$

donde

f_b = esfuerzo real de trabajo

F_b = esfuerzo permisible de trabajo

$$f_b = M \times c/I = M/S$$

M = momento máximo en la sección

c = distancia a la fibra externa desde el eje neutro

S = módulo de sección

para vigas de sección rectangular

$$c = d/2$$

$$I = (b \times d^3)/12$$

$$S = I/c = bd^2/6$$

Esta fórmula indica que el esfuerzo de flexión real (f_b) debe ser igual o menor que el esfuerzo de flexión permisible (F_b). Esta fórmula fue desarrollada para un material ideal. Tal material se define como un material sólido homogéneo e isotrópico teniendo las mismas propiedades en todas direcciones. En adición, las secciones planas antes de la flexión permanecen planas durante la flexión y, el esfuerzo real es proporcional a la deformación.

Las células de la madera son huecas y a causa de las varias características de crecimiento, no satisface completamente el criterio para en cual la fórmula fue desarrollada.

No obstante resultados adecuados son obtenidos en diseño aplicando la fórmula de flexión ordinaria y ajustando los esfuerzos permisibles. Los ajustes reflejan importantes factores de diseño los cuales causan un comportamiento diferente al de un material ideal. Algunos de estos ajustes para esfuerzos fueron discutidos anteriormente. Por lo tanto el esfuerzo permisible ajustado está dado por:

$$F_{ba} = F_b \times LDF \times CUF \times CF \times C_f \times \dots \quad (6.20)$$

la fórmula se transforma en:

$$f_b = M \times c/I = M/S$$

$$f_b \leq F_{ba} \quad (6.21)$$

6.1.3.5 CORTE

El esfuerzo cortante en vigas es a menudo referido como corte horizontal y computado por la fórmula:

$$f_v = (V \times Q)/(I \times b) \quad (6.22)$$

Con esta fórmula se calcula el esfuerzo cortante horizontal en cualquier punto del área transversal de un elemento en flexión. El cálculo del esfuerzo cortante promedio da un razonable resultado para vigas típicas de acero (perfil W) pero no se aplica a vigas de madera o de concreto. El máximo corte en una viga de sección rectangular es 1.5 veces el valor promedio.

Por tanto, la fórmula anterior para corte horizontal en vigas de sección rectangular se usa así.

$$f_v = 1.5 \times V/A = 3V/(2 \times b \times d) \quad (6.23)$$

donde

V = corte vertical máximo.

Para secciones no rectangulares es conveniente usar la fórmula básica o algún otro chequeo apropiado dependiendo del tipo de miembro envuelto. En corte los esfuerzos permisibles tabulados, nuevamente proveen solo el punto de partida en la determinación de los esfuerzos de diseño para un grupo de condiciones dadas. Los factores LDF, CUF y otros factores de ajuste, deben ser tomados en cuenta en la determinación de los esfuerzos de trabajo.

En adición a los factores mencionados, hay otros que pueden ser usados en el cálculo de corte horizontal:

a) reducción de cargas para chequeo horizontal.

Este ajuste consiste en omitir la carga sobre la viga en una distancia igual al peralte (d) desde el soporte, tanto para carga concentrada o distribuida.

La omisión es basada en la asunción de que todas las cargas son aplicadas en la superficie superior. De esta manera las cargas omitidas son transferidas al soporte por compresión diagonal. Un tipo similar de ajuste es aplicado en concreto reforzado. Aunque es conservador el uso del diagrama de corte sin reducciones.

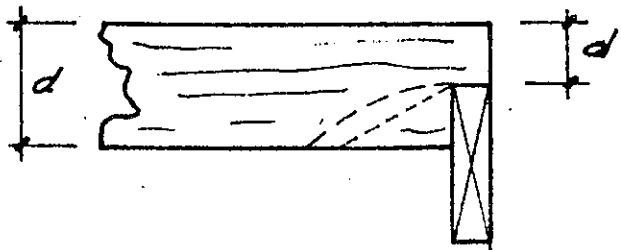


FIGURA 6.14

En el caso de nudos o cortes en el lado inferior o superior de los extremos de vigas cortas y relativamente profundas, la resistencia al corte es disminuida en una cantidad que depende del perfil del nudo y la relación entre la profundidad del nudo o corte en la viga al peralte de la misma.

El corte debe ser chequeado con la fórmula de corte horizontal y el peralte d' en vez de d .

Para cortes o nudos cuadrados el esfuerzo debe ser incrementado por un factor de concentración de esfuerzos cuyo valor es tomado como (d/d') . Por lo tanto la fórmula para este caso quedará:

$$f_v = (1.5 \times V/b \times d') \times (d/d') \quad (6.24)$$

Estas condiciones en el lado superior son chequeadas con la fórmula siguiente:

$$f_v = 1.5V/b \times [d - \{(d-d')/d'\}e] \quad (6.25)$$

donde:

e = distancia en que el nudo o corte se extiende del lado interior de soporte (para corte biselado la distancia se toma desde el soporte al punto en que se inicia el bisel).

$d-d' = 0.4d$ la profundidad del nudo o corte no excede el 40% del peralte.

$e \leq d$

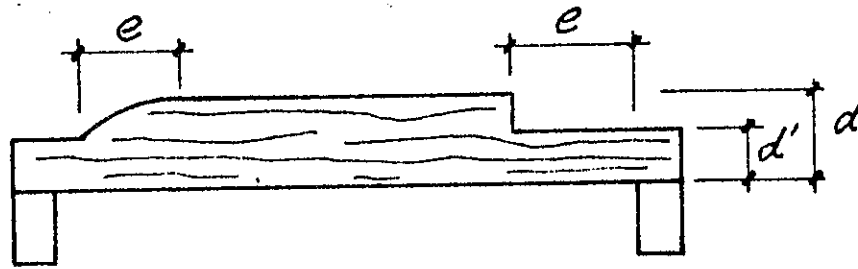


FIGURA 6.15

La profundidad del nudo o corte es mayor que el 40% del peralte o excede el valor del peralte, el esfuerzo cortante es evaluado sobre la base de una viga de peralte d' . Nudos o cortes de otra configuración son dejados al criterio del diseñador.

Como guía general, el cortante es crítico en vigas relativamente cortas y con altas cargas.

Como resultado de varias pruebas, se han desarrollado las siguientes recomendaciones:

- 1.- Usar la fórmula de corte y los esfuerzos de trabajo.
- 2.- Considerar la influencia en la viga como resultado de la distribución de la carga a vigas paralelas adyacentes por el piso u otros miembros.
- 3.- Desestimar todas las cargas contenidas dentro de una distancia igual al peralte desde ambos soportes, vigas simples.
- 4.- Para cargas móviles colocar la mayor a tres veces el peralte o a $1/4$ de la luz desde el soporte, el que sea menor. Todas las otras cargas deben ser mantenidas en su posición.
- 5.- Tratar todas las otras cargas en la forma usual.
- 6.- Si un miembro estructural califica para resistencia al corte bajo las anteriores recomendaciones, determinar el corte vertical en los extremos así.

para carga concentrada $V = [10P \times (L-x) \times (x/d)^2] / 9L \times [2+(x/d)^2]$

para carga uniforme $V = (W/2) \times (1-2d/L)$

6.1.3.6 ESFUERZO DE CONTACTO

Los esfuerzos de contacto perpendiculares a la fibra ocurren en los soportes de las vigas o donde las cargas de otros miembros son soportadas por las vigas. Este esfuerzo es calculado dividiendo la carga entre el área de contacto de los dos miembros.

$$f_c = P/A \leq F_c \times \text{factores}$$

De los factores que son usados para modificar el esfuerzo de contacto están:

- El factor de duración de carga (LDF)
- El factor de condición de uso (CUF)

Hay un factor que se aplica solamente a la compresión perpendicular al grano y se basa en la longitud de contacto de una carga o reacción sobre la superficie que las soporta. El factor de longitud de contacto (BFL), es un término usado para considerar un efectivo aumento en dicha longitud. Esta longitud es paralela a la longitud de la viga.

El ajuste basado en la longitud de contacto es considerado bajo las siguientes condiciones:

- a. La longitud de contacto l_b es menor de 6" (15.24cm).
- b. La distancia entre el extremo de la viga y la cara externa del miembro en contacto con la viga debe ser mayor que 3" (7.62cm).

$$BFL = (l_b + 0.375)/l_b$$

CUADRO 6.4

LONGITUD DE CONTACTO	BFL
1/2" (1.27cm)	1.75
1" (2.54cm)	1.38
1 1/2" (3.81cm)	1.25
2" (5.08cm)	1.19
3" (7.62cm)	1.13
4" (10.00cm)	1.10
6" (15.24cm)	1.06

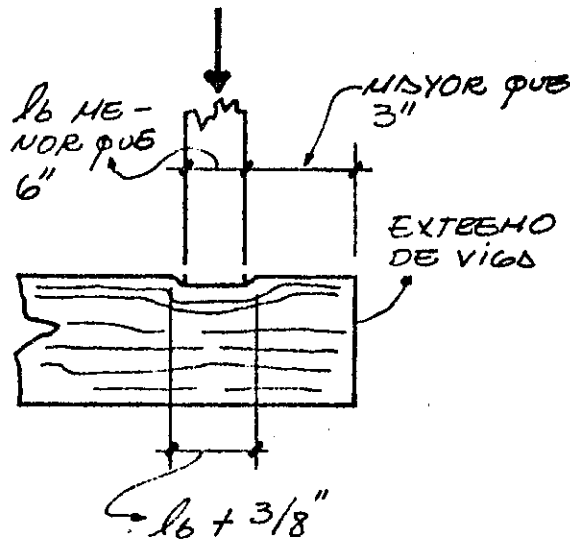


FIGURA 5.16

En efecto, el factor de longitud de contacto incrementa la longitud de contacto efectiva en 3/8" (0.95cm).

$$f_c = P/A \leq F_c \times (BFL) \times \dots \quad (6.26)$$

En el caso de contacto en ángulo al grano o fibra, o sea, contacto en un ángulo diferente 0° o 90° con respecto a la dirección de la fibra, puede determinarse un factor general conocido como la fórmula de Hankinson.

$$f_n = F_c \times F_c / (F_c \times \sin^2\theta + F_c \times \cos^2\theta) \quad (6.27)$$

Valores de BLF pueden ser obtenidos del NDS secc. 3.11.2 y del UBC cap. 25.

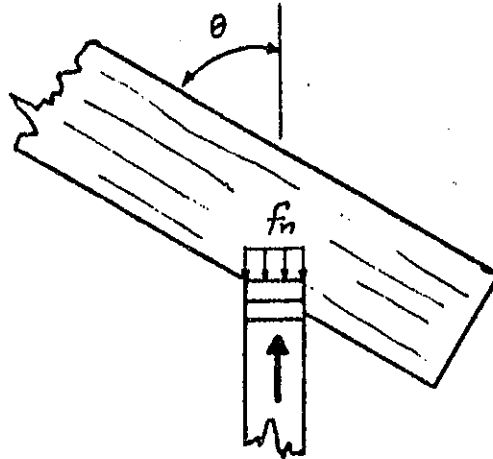


FIGURA 6.17

6.1.3.7 DEFLEXION

El código establece limitaciones a la deflexión de un miembro sometido a flexión y que no deben ser excedidas bajo ciertas cargas de gravedad. El criterio de deflexión es dado en el UBC tabla 23D y 23E y se aplica a miembros de piso y techo que soporten cielos falsos. Estas limitaciones razonables se basan en condiciones arquitectónicas o estéticas y el confort del usuario, además, para evitar grietas excesivas en los materiales que conforman los cielos falsos.

La consideración del confort del usuario está atada directamente a la confianza que los ocupantes tienen en relación a la seguridad de la estructura. Es posible para una estructura ser muy segura respecto de satisfacer las limitaciones de esfuerzo, pero, ésta se puede deflectar bajo carga a tal grado que la vuelva insatisfactoria.

Deflexiones excesivas pueden ocurrir bajo una variedad de condiciones de carga. Por ejemplo, el confort de usuario es esencialmente relativo a la deflexión causada por las cargas vivas solamente. Por lo tanto, el código requiere que la deflexión bajo carga viva sea calculada. Esta deflexión debería ser menor o igual a la luz dividida por 360.

$$\delta_{LL} \leq L/360 \quad (6.28)$$

Otra condición de carga que realza más las condiciones adversas a la deflexión es la consideración de la carga total (viva + muerta). Para este caso el límite es dado por la luz dividida por 240.

$$\delta(KDL+LL) \leq L/240 \quad (6.29)$$

Nótese que en el criterio anterior la deflexión calculada es K veces la carga muerta más la carga viva. En este cálculo K representa un intento del código en reflejar la tendencia de varios materiales estructurales a la deformación bajo carga sostenida.

La tendencia de vigas de madera a la deformación con el tiempo es afectado por el contenido de humedad del miembro. Entre más seco el miembro menos será la deflexión bajo carga sostenida.

Así, para madera sazonada, se usa un factor de 0.5 y para madera verde K toma el valor de 1.0. Aunque los valores de K son incluidos en el código, muchos diseñadores adoptan una postura conservativa y simplemente usan la carga muerta total ($K=1$) en el chequeo por deflexión bajo carga viva mas muerta en vigas de madera.

En casos no cubiertos por los criterios de código el American Institute of Timber Construction (AITC) recomienda que la deflexión por carga viva sea limitada a $L/240$ y que la deflexión por carga total sea limitada a $L/180$. Estas mayores deflexiones permisibles parecen razonables para estas situaciones menos críticas, pero existen otras donde se consideran superficies vidriadas, esmaltadas, pulidas, barnizadas y miembros que afectan el alineamiento u operación de equipo especial, las cuales necesitan criterios especiales.

Fallas por estancamiento de agua pueden ser prevenidas por un diseño apropiado. Los métodos más sencillos proveen un adecuado drenaje junto con una inclinación positiva (aún en techos relativamente planos). El AITC recomienda una inclinación mínima para techos de $1/4$ "/pie (2 cm/m) para prevenir el estancamiento de agua. Un número y tamaño adecuado de drenajes debe de ser proveído.

No obstante, en vez de prever la inclinación mínima, el estancamiento puede ser prevenido diseñando una estructura de techo suficientemente rígida y fuerte para que el agua no pueda acumularse progresivamente. A causa de que el primer método, para prevenir el estancamiento de agua, es el más directo, positivo y menos costoso, es el recomendado para la mayoría de diseños.

6.1.4 DISEÑO DE PIEZAS SOMETIDAS A FUERZAS AXIALES Y COMBINADAS

A excepción del cálculo de miembros en tensión, que se hace directamente, las otras tres combinaciones pueden solucionarse mediante elecciones de prueba y comparación. Estos elementos pueden encontrarse en diversas partes de una estructura:

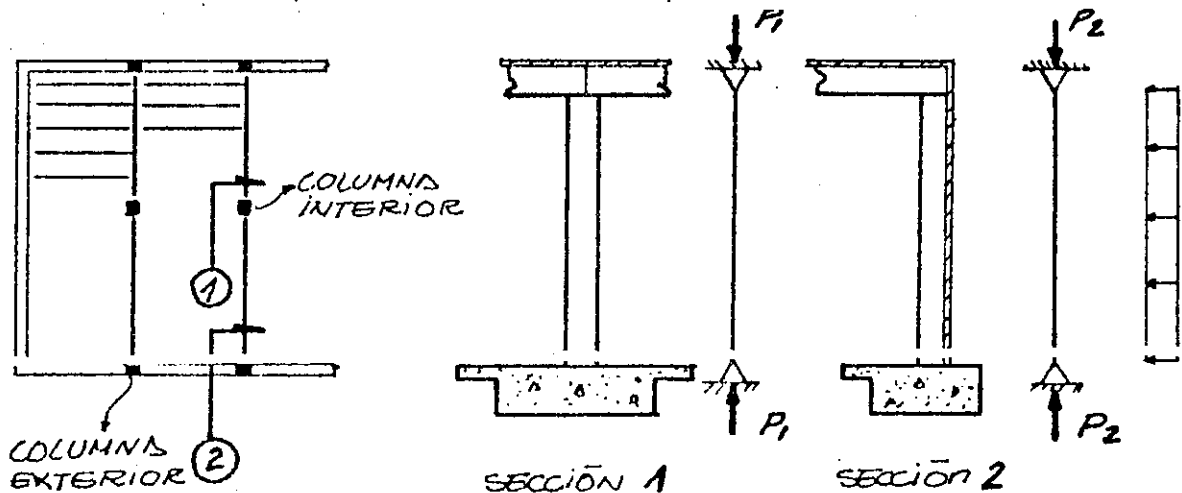


FIGURA 6.18

6.1.4.1 MIEMBROS EN TENSION

Aspectos a tomar en cuenta:

Cualquier agujero para conexión, nudos y grietas perpendiculares al área transversal.

Para efectos de cálculo del esfuerzo de tensión (F_t) dependiendo del sistema de conexión, se debe de sustraer el área proyectada de estas perforaciones o defectos del área bruta, y trabajar solo con el área neta.

$$f_t = P/(A_g - A_p) = P/A_n \leq F_t \times LDF \times CUF \times \dots \quad (6.30)$$

Hay que recordar que el área encontrada en este cálculo es el área neta, por lo tanto, ésta deberá ser aumentada dependiendo de las necesidades o condiciones de conexión.

6.1.4.2 COLUMNAS

La revisión en la capacidad de una viga de madera cargada axialmente y de tamaño conocido se hace:

$$f_c = P/A \leq F'_c \text{ (ajustado)}$$

El símbolo F'_c es usado para indicar que los efectos de inestabilidad en columnas debe ser tomado en cuenta. El símbolo F_c es usado para referirse al esfuerzo compresivo permisible paralelo dado a la fibra en el NDS y UBC; éste se aplica sólo a columnas cortas.

En el cálculo del esfuerzo actuante (f_c) el área transversal a ser usada, será una u otra, el área gruesa o bruta de la columna o el área neta por algún agujero o corte. El área a ser usada depende de la localización del agujero y la tendencia de este punto a pandear lateralmente. Si dicho punto se encuentra lateralmente soportado, el área gruesa puede ser usada en el chequeo de la estabilidad de columna. Otro de f_c en la sección transversal reducida (usando el área neta) debería ser la comparación con F_c sin reducción por estabilidad. La otra posibilidad es que alguna reducción del área de columna ocurra en la porción no soportada lateralmente. En último caso, el área neta es usada directamente en la revisión de estabilidad.

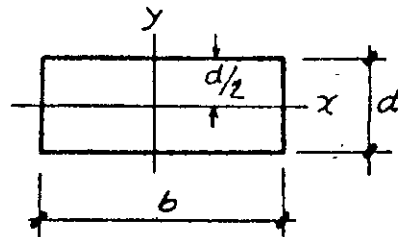
1. Lejos de los soportes la estabilidad debe ser considerada $f_c = P/A_g \leq F'_c$
2. En las conexiones el pandeo no es un factor $f_c = P/A_n \leq F_c$

6.1.4.3 RELACION DE ESBELTEZ

La relación de esbeltez es una medida de la tendencia de las columnas al pandeo. En su forma tradicional la relación de esbeltez es expresada como la longitud no soportada verticalmente dividida por el menor radio de giro.

L/r = relación general de esbeltez

$$r_y = (I_g/A)^{1/2} = [(bd^3/12) + (bd)]^{1/2} = d(1/12)^{1/2}$$



No obstante para el diseño de columnas de madera, el radio de giro es modificado a una forma sencilla de usar. En vez de L/r se usa L/d , porque el radio de giro puede ser expresado como una función directa del peralte de la sección; la constante en la conversión del radio de giro modificado es simplemente incorporado dentro del esfuerzo permisible de las fórmulas de diseño de columnas.

Para columnas de sección que no sea rectangular, éstas pueden ser usadas sustituyendo $r(12)^{1/2}$ por d .

Hay tres rangos de esbeltez para columnas de madera:

$0 < L/d \leq 11$ columnas cortas $F'_c = F_b \times FDC$

$11 < L/d \leq K$ columnas intermedias

$$F'_c = F_c \times FDC \times [1 - 1/3 \times ((L/d)/K)^4]$$

$K < L/d \leq 50$ columnas largas $F'_c = 0.3E/(L/d)^2$

En el rango corto, la compresión de la fibra de madera gobierna el esfuerzo. Aquí el esfuerzo compresivo permisible tabulado paralelo a la fibra es usado sin reducción alguna. En el rango largo el pandeo controla el comportamiento y el esfuerzo crítico por pandeo de Euler dividido por un factor de seguridad, como la base del diseño. En el rango intermedio, una expresión de transición es usada. En la figura se observa la línea punteada discontinua y se observa que, actualmente, el rango intermedio es más conservativo.

El método de aplicación del LDF en estas fórmulas requiere especial atención. Las expresiones para F'_c son mostradas en el NDS sin el LDF. El diseñador debe, entonces, determinar donde el LDF será usado. Como una guía el LDF es mostrado en los puntos apropiados. Este ajuste por LDF es diferente al ajuste usado para vigas no soportadas lateralmente.

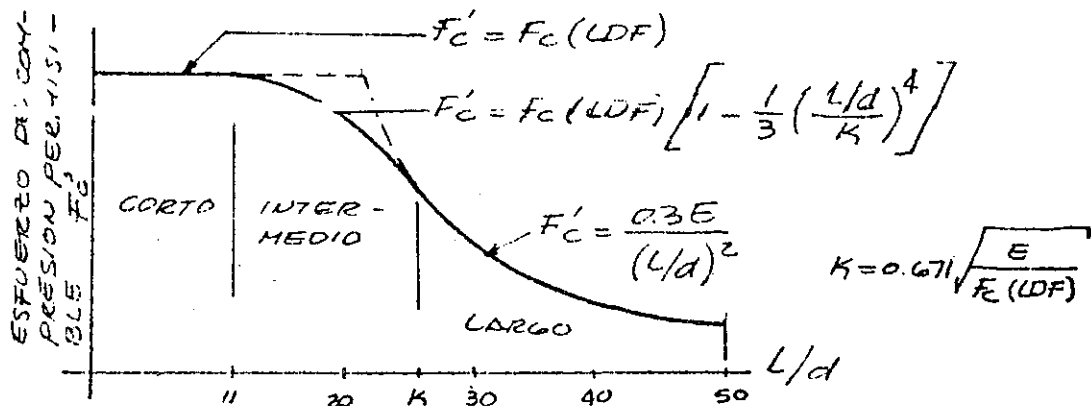


FIGURA 6.19

Al considerar la esbeltez se estableció que el menor radio de giro debe ser usado en la expresión L/r y que la menor dimensión de la sección es usado en la expresión L/d .

Estas consideraciones asumen que la longitud soportada verticalmente en la columna es la misma para ambos, el eje X y el eje Y. En este caso la columna, si es cargada hasta la falla, pandearía sobre el eje débil. En la figura, notese que si el pandeo ocurre sobre el eje Y, la columna se mueve en la dirección X. En este caso solamente la esbeltez sobre el eje débil debe ser calculado. Aunque este concepto es general, el diseñador debería tener un profundo conocimiento sobre los efectos de esbeltez y su consecuencia para columnas. Pueden existir condiciones bajo las cuales la columna puede pandear sobre el eje fuerte de la sección.

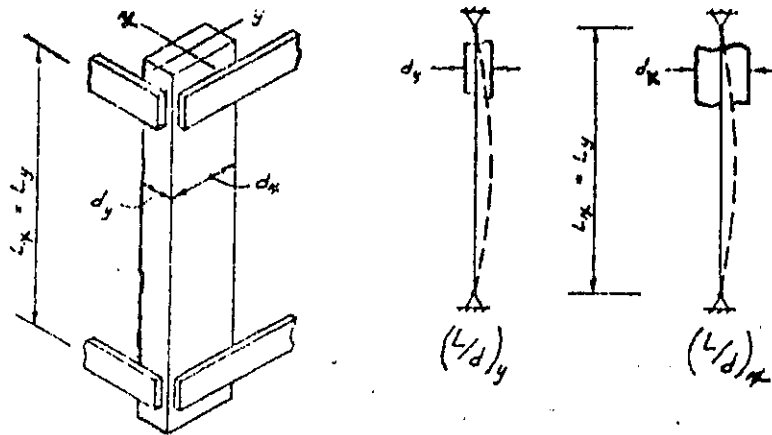


FIGURA 6.20

En el caso más general, la columna puede ser revisada como teniendo dos relaciones de esbeltez; cada una evalúa la tendencia al pandeo sobre su respectivo eje.

$(L/d)_x$ sobre el eje X. Se mueve en el sentido Y.

$(L/d)_y$ sobre el eje Y. Se mueve en el sentido X.

Si la columna es cargada a la falla, el pandeo ocurrirá sobre el eje que tiene la mayor relación de esbeltez. Esta relación es usada para calcular el esfuerzo permisible de compresión.

La razón de que el eje fuerte puede ser crítico puede ser entendido considerando dos aspectos:

- a. arriostrado,
- b. condiciones de extremos de la columna,
 - a. en la figura anterior la longitud arriostrada, para el eje X, es la mitad que para el eje Y; en el caso de los muros de carga la cubierta de la pared es colocada sobre los parales y

columnas principales. Si las conexiones son efectivas, el pandeo sobre el eje perpendicular a la cubierta es prevenido. Ver figura.

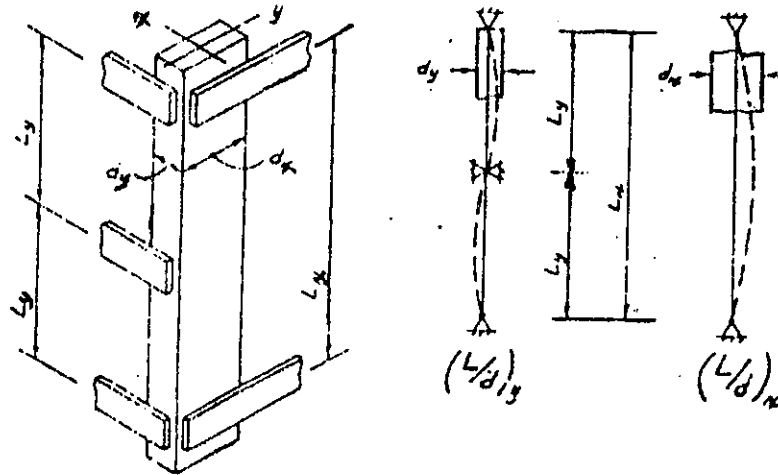


FIGURA 6.21

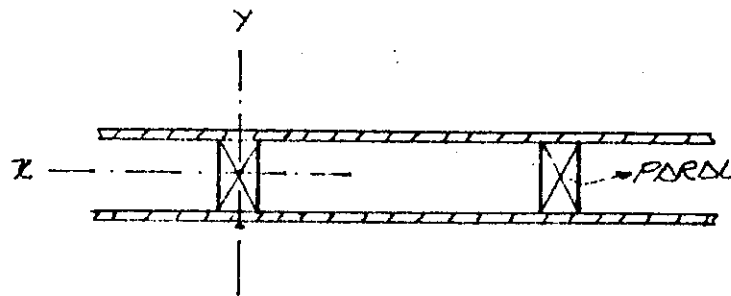


FIGURA 6.22

La longitud L usada en la relación de esbeltez es, teóricamente, la longitud entre los extremos simplemente soportados de una columna. Para columnas con otras condiciones de soporte, L es tomada como la distancia entre puntos de inflexión. Este punto es considerado como un extremo simple para propósitos de análisis.

Cuando sólo un punto de inflexión se observa en el diagrama de deflexión, se encuentra el otro imaginando la imagen sobre un espejo, colocado en el extremo donde el punto de inflexión hace falta. (Ver figura). Esto da una longitud efectiva (L_e) igual a dos veces la distancia entre el punto de inflexión y el extremo donde no lo hay.

Generalmente, si la columna es parte de un sistema en el que las cargas laterales son resistidas por riostras o muros de corte, el ladeo será prevenido. Estos tipos de sistemas resistentes a cargas laterales son relativamente rígidos y el movimiento de un extremo de la columna con respecto al otro está restringido. Si una sobrecarga ocurre en este caso, el pandeo de la columna será simétrico. Las columnas en marcos rígidos (sin soporte lateral) se someterán a ladeo si la columna pandea.

Para columnas donde el ladeo puede ocurrir, la longitud efectiva es mayor que la longitud normal no soportada. Para este tipo de columnas, la mayor relación de esbeltez causa una carga axial permisible considerablemente menor que la carga permisible sobre una columna arriostrada.

Un aspecto muy importante para el diseñador es la evaluación de la efectividad de las conexiones para las columnas.

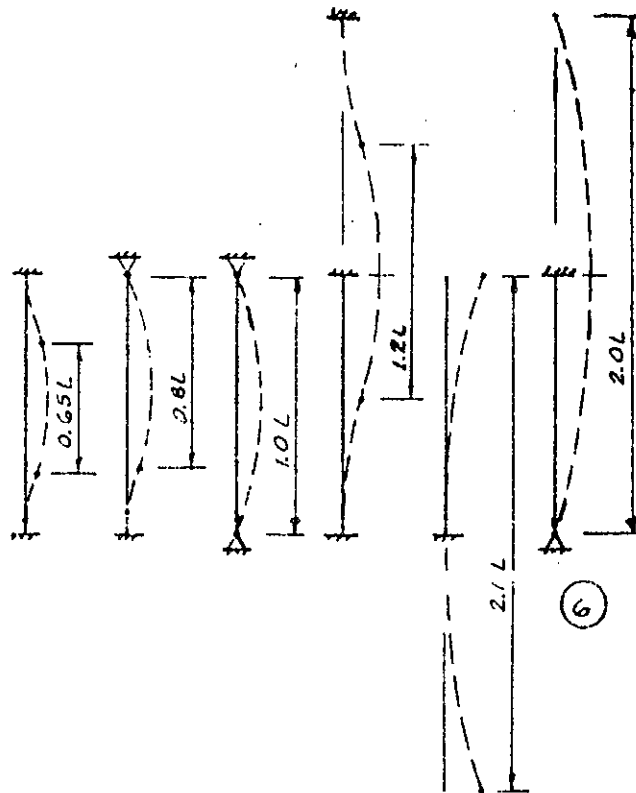


FIGURA 6.23

6.2 CLASIFICACION DE LA MADERA PARA SU USO EN CONSTRUCCION³

La madera aserrada puede clasificarse, visualmente, en grados estructurales, dependiendo de los defectos y características que la misma posea; para definirlos se toman en cuenta varios factores, los cuales se describen a continuación:

³ Tomado de referencia No. 9.

6.2.1 DENSIDAD E INDICE DE CRECIMIENTO

Este índice es una manera de expresar la cantidad de anillos de crecimiento anual que hay en una pulgada radial. Existiendo expresiones del índice de crecimiento:

6.2.1.1 INDICE DE CRECIMIENTO DENSO: GRANO DENSO:

Es cuando el crecimiento es de seis anillos por pulgada radial y un tercio (3.39 cm) de madera de verano.

6.2.1.2 INDICE DE CRECIMIENTO MEDIO: GRANO MEDIO:

Debe de tener cuatro anillos por pulgada radial (2.54 cm) sin considerar la madera obtenida en verano.

La madera de grano denso es más fuerte que la de grano medio y esta última es más fuerte que la de anillos extendidos.

La línea radial es el trazo que se hace a la sección de una troza y que va del centro hacia afuera.

También, se debe tomar en cuenta que la línea debe ir a través de una porción de madera que representa la tasa de crecimiento del pedazo entero.

Como se notará en la figura 6.24, la línea radial comienza en el centro de la troza: corazón, y se extiende hacia afuera. Cuando la médula está presente es fácil localizar la línea radial y la dirección que ésta tiene.

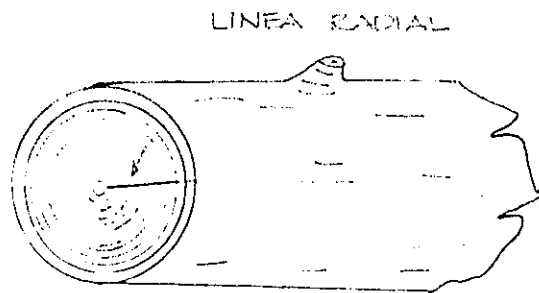


FIGURA 6.24

En resumen, para determinar la cantidad de anillos se puede decir:

- La línea radial comienza en la médula, centro.
- La cuenta de anillos de crecimiento empieza a media pulgada (1.27 cm) de la médula en madera de dos pulgadas (5.08 cm) de grosor.
- La línea es de tres pulgadas (7.62 cm) de largo como máximo.

Para la madera que no tiene médula, figura 6.25, usualmente, llamada: "madera de lado" ya que no es del centro de la troza, es más fácil medir el grano denso o grano medio. Dibujando la línea

radial se puede estimar, justamente, donde está el corazón en relación al pedazo que se está clasificando.

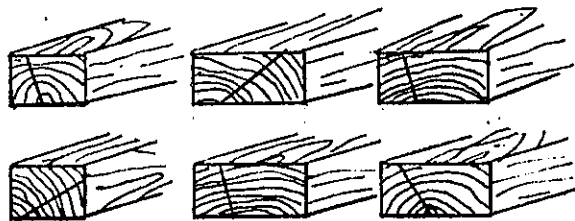


FIGURA 6.25

Una pieza de madera, pieza A, figura 6.26, puede tener varias líneas radiales; se deberá escoger una línea que reúna los requisitos que se establecieron anteriormente, la cual deberá ser representativa de la tasa de crecimiento en el extremo, corte transversal, y, además, deberá ser localizada al centro.

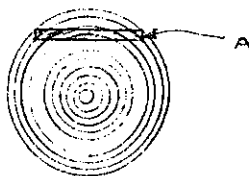


FIGURA 6.26

En general, los requisitos de grano o densidad para cada grado estructural son los siguiente:

- a) **GRADO ESTRUCTURAL 1:** debe ser de grano medio, con cuatro anillos por pulgada radial (2.54 cm)
- b) **GRADO ESTRUCTURAL 2:** este grado, también, puede ser de grano medio, 4 anillos por pulgada radial, pero, también, pueden existir piezas que tengan grano ancho o grano grueso.
- c) **GRADO ESTRUCTURAL 3:** no tiene requisitos de grano, es decir, que no considera el número de anillos por pulgada radial.

6.2.2 PRESENCIA DE NUDOS EN LAS PIEZAS

Los nudos son probablemente, la característica más a menudo encontrada en la clasificación de la madera. Por lo cual, se debe ser capaz de juzgar el tamaño de los mismos.

Primero se debe saber lo que es un nudo y cómo medirlo. Los nudos son porciones de las ramas cortados en el aserrado de la madera. Los nudos siempre comienzan en el centro de la médula del árbol. Algunas veces puede ser que la madera de médula no esté presente en la tabla o cuartón; pero si se sabe cómo aparecen los nudos, se puede juzgar mejor el tamaño. La figura 6.27 representa el corte transversal de una troza y cómo pueden aparecer los nudos en la madera cuando es aserrada.

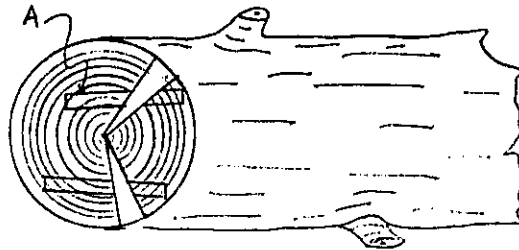
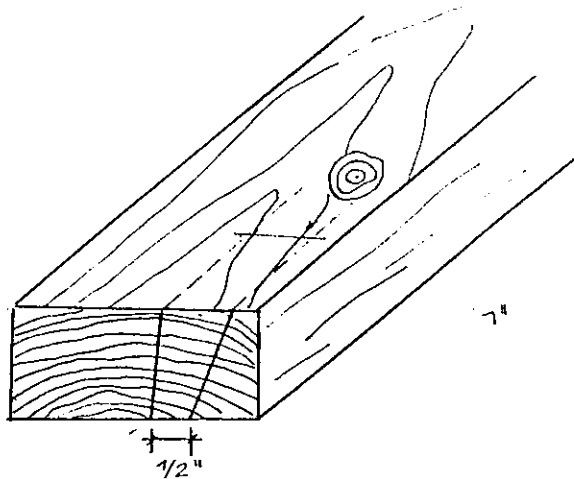


FIGURA 6.27

Por ejemplo, la pieza A, figura 6.27, tendrá un nudo como el de la figura 6.28. Para medir este nudo, se debe considerar su tamaño en ambas caras. El tamaño del nudo en la parte de abajo es la distancia entre las líneas paralelas a las orillas que lo encierran; la cual, en este ejemplo, miden una pulgada (2.54 cm). El tamaño en el lado opuesto es medido de la misma manera (1/2 pulgada o 1.27 cm). Estas dos medidas se suman y se dividen entre dos, para obtener el tamaño del nudo. Como este pedazo de madera es de 2 x 4 pulgadas (5.08 x 10.16 cm) el nudo reúne los requisitos para el grado número uno, el cual permite una pulgada (2.54 cm) como máximo de nudo promedio en el extremo o parte plana de la madera.



$$\frac{1" + 1/2"}{2} = \frac{1" + 1/2"}{2}$$

$$3/4" (1.90 \text{ cm})$$

EL PROMEDIO DE LOS LADOS
ES DE 3/4"

FIGURA 6.28

No es raro encontrar nudos que no presenten cara ancha, pero si cara angosta, figura 6.29

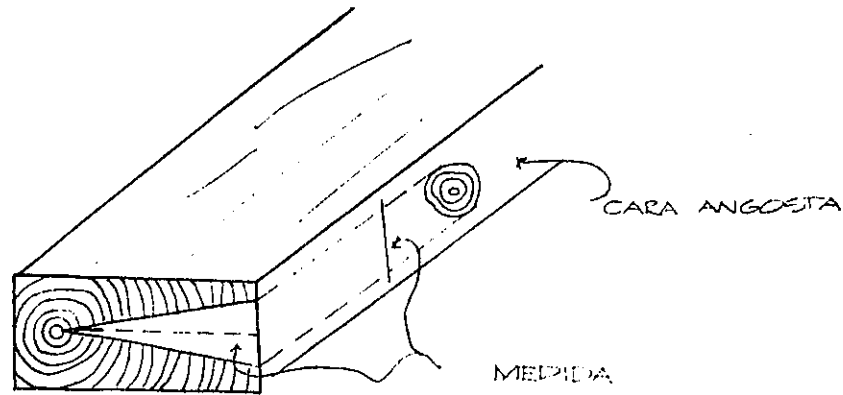


FIGURA 6.29

Los nudos de este tipo son llamados punteagudos o en forma de clavo, éstos son limitados por la cantidad de corte transversal o espacio que ocupan en comparación con el espacio de un nudo en el extremo ancho, figura 6.30. En otras palabras, se deben comparar los nudos delgados con los nudos de orilla o cara ancha. Si el nudo punteagudo no ocupa más área transversal que el nudo de la orilla, entonces, se considera aceptable.

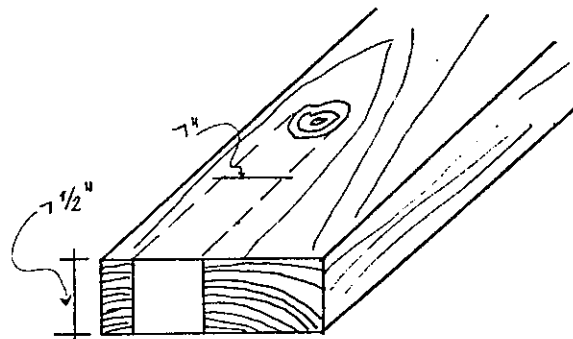


FIGURA 6.30

Una regla para determinar la equivalencia o comparar nudos es la que se muestra en el cuadro siguiente.

CUADRO 6.5

GRADO ESTRUCTURAL	TAMAÑO DEL NUDO SOBRE LA SUPERFICIE ESTRECHA		EL NUDO PUEDE EXTENDERSE A TRAVES DE LA PIEZA DE MADERA
	CM	PULGADAS	
1	3.81	1 1/2	1/2 DEL ANCHO (FIGURA 6.31).
	2.54	1	3/4 DEL ANCHO (FIGURA 6.32).
2	3.81	1 1/2	UN POCO MENOS QUE 3/4 DEL ANCHO.
3	3.81	1 1/2	UN POCO MENOS QUE EL ANCHO.

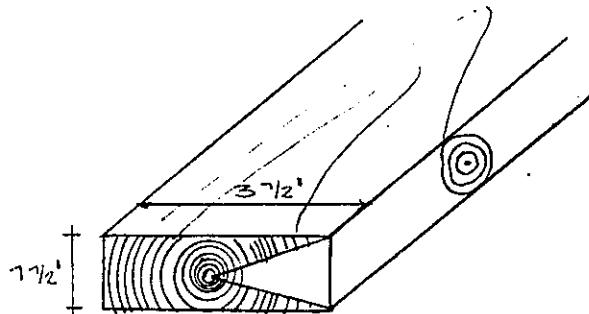


FIGURA 6.31

Nudo delgado de 1 1/2 pulgadas extendiéndose a la mitad del ancho de la superficie. (1 1/2 pulgadas = 3.81 cm)

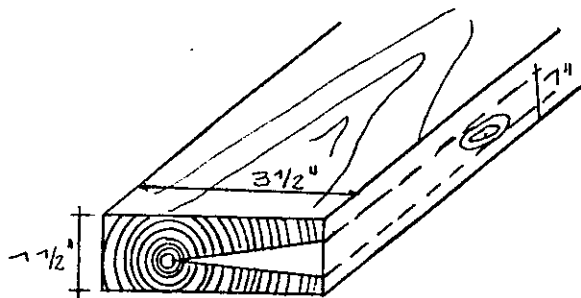


FIGURA 6.32

Nudo de 1 pulgada sobre la superficie estrecha extendiéndose 3/4 del ancho de la superficie.

6.2.3 MADERA DEFORME

Es un defecto común que ocurre en varias formas y para hacer su medida más fácil, se ha dividido en cuatro categorías:

- a) Defecto en forma de arco en la superficie ancha de la madera.
- b) Defecto en la superficie gruesa: torcida.
- c) Defecto en forma de taza: comba.
- d) Madera retorcida.

El defecto en la madera puede ser causado por muchos factores, el principal de ellos es la madera compresada. Esta es una de las razones de severas restricciones.

6.2.3.1 MADERA EN FORMA DE ARCO

Este defecto se define como la desviación que tiene una pieza de madera con respecto a una línea recta trazada de extremo a extremo de la misma. La figura 6.33 muestra la forma en que esta medida se hace. Hay que aclarar que la medida debe hacerse donde la distancia entre pieza de madera y la línea recta es más grande.

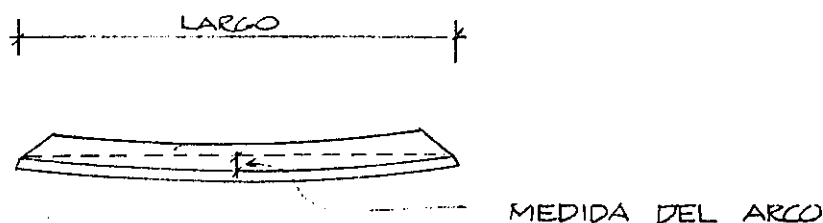


FIGURA 6.33

El tamaño de la desviación permitida para cada grado estructural se muestra en el cuadro 6.6.

6.2.3.2 MADERA TORCIDA

La madera torcida es definida como la desviación a lo largo de la orilla o parte gruesa de la tabla o pieza de madera con una línea recta trazada de extremo a extremo de la misma. La figura 6.34 muestra cómo la medida es hecha cuando este defecto es normal, a través de lo largo de la madera.

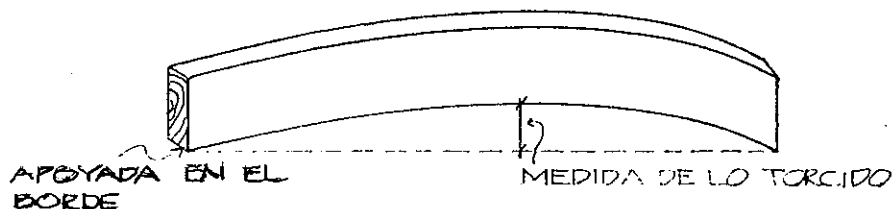


FIGURA 6.34

Algunas veces, una tabla o pieza de madera puede ser recta en casi toda su extensión y solamente en uno de sus extremos estar torcida. Cuando esto ocurre, las reglas dicen que la medida se hace a lo largo de la parte torcida, como se muestra en la figura 6.35.

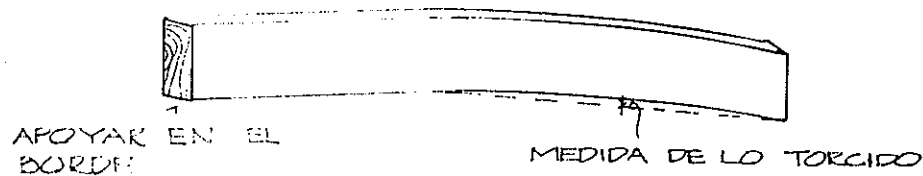


FIGURA 6.35

El cuadro 6.7 muestra cómo determinar el grado estructural en la madera torcida, según el largo y sección de la misma.

6.2.3.3 DEFECTO EN FORMA DE TAZA

En raras ocasiones existe un problema en la clasificación de la madera ante la sierra o máquina, pero debe ser limitado de acuerdo a lo que es permitido cuando se presente este problema. La figura 6.36 muestra cómo es medido este defecto.



FIGURA 6.36

6.2.3.4 MADERA RETORCIDA

Es definida como una desviación a lo largo de la superficie plana, o una combinación de la superficie plana y orilla en la forma de una espiral. La figura 6.37 muestra cómo la madera retorcida es medida. La madera retorcida y torcida, son los defectos más dañinos en la madera de construcción y se deberá observar esto, así como las demás características como nudos, partes oblicuas en la superficie de la madera, etc.

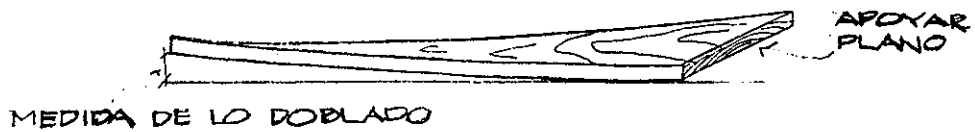


FIGURA 6.37

En el cuadro 6.8 se muestra la medida de lo retorcido, permitido, en pulgadas, para cada grado estructural, según el largo de la pieza y la sección de la misma.

CUADRO 6.6

DETERMINACION DEL GRADO ESTRUCTURAL EN LA MADERA EN FORMA DE ARCO, SEGUN LARGO Y SECCION TRANSVERSAL DE LA MISMA.

LARGO PIES	GRADO ESTRUCTURAL	SECCION TRANSVERSAL DE LA PIEZA EN PLG					
		2 x 3	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 10	2 x 12
6	1	3/8	3/8	1/4	3/16	1/8	1/8
	2	1/2	1/2	3/8	1/4	1/8	1/8
	3	3/4	3/4	1/2	3/8	1/4	1/4
8	1	1/2	1/2	1/2	3/8	1/4	3/16
	2	3/4	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4
	3	1	1	1	3/4	1/2	3/8
10	1	1	3/4	5/8	1/2	7/16	3/8
	2	1 1/4	1	7/8	3/4	1/2	3/8
	3	2	1 1/2	1 1/4	1	7/8	3/4
12	1	1 1/8	1	7/8	13/16	3/4	9/16
	2	1 1/2	1 3/8	1 1/4	1	7/8	3/4
	3	2 1/4	2	1 3/4	1 5/8	1 1/2	1 1/8
14	1	1 1/2	1 1/4	1 1/8	1	7/8	3/4
	2	2	1 3/4	1 1/2	1 1/4	1	3/4
	3	3	2 1/2	2 1/4	2	1 3/4	1 1/2
16	1	1 7/8	1 1/2	1 3/8	1 1/8	1	7/8
	2	2 1/2	2	1 3/4	1 1/2	1 1/4	1
	3	3 3/4	3	2 3/4	2 1/4	2	1 3/4
18	1	2 1/16	1 5/8	1 1/2	1 1/4	1 1/8	1
	2	2 3/4	2 1/4	2	1 3/4	1 1/2	1 1/4
	3	4 1/8	3 1/4	3	2 1/2	2 1/4	2
20	1	2 1/4	2 1/16	1 7/8	1 1/2	1 5/16	1 1/8
	2	3	2 3/4	2 1/2	2	1 3/4	1 1/2
	3	4 1/2	4 1/8	3 3/4	3	2 5/8	2 1/4

CUADRO 6.7

DETERMINACION DEL GRADO ESTRUCTURAL EN LA MADERA TORCIDA,
SEGUN LARGO Y SECCION TRANSVERSAL DE LA MISMA

LARGO PIES	GRADO ESTRUCTURAL	SECCION TRANSVERSAL DE LA PIEZA EN PLG.					
		2 x 3	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 10	2 x 12
4 y 6	1	3/16	3/16	1/8	3/32	1/16	1/16
	2	1/4	1/4	3/16	1/8	1/16	1/16
	3	3/8	3/8	1/4	3/16	1/8	1/8
8	1	1/4	1/4	1/4	3/16	1/8	3/32
	2	3/8	3/8	5/16	1/4	3/16	1/8
	3	1/2	1/2	1/2	3/8	1/4	3/16
10	1	1/2	3/8	5/16	1/4	7/32	3/16
	2	5/8	1/2	7/16	3/8	1/4	3/16
	3	1	3/4	5/8	1/2	7/16	3/8
12	1	9/16	1/2	7/16	13/32	3/8	9/32
	2	3/4	11/16	5/8	1/2	7/16	3/8
	3	1 1/8	1	7/8	13/16	3/4	9/16
14	1	3/4	5/8	9/16	1/2	7/16	3/8
	2	2	1 3/4	1 1/2	1 1/4	1	3/4
	3	1 1/2	1 1/4	1 1/8	1	7/8	3/4
16	1	15/16	3/4	11/16	9/16	1/2	7/16
	2	1 1/4	1	7/8	3/4	5/8	1/2
	3	1 7/8	1 1/2	1 3/8	1 1/8	1	7/8
18	1	1 1/32	13/16	3/4	5/8	9/16	1/2
	2	1 3/8	1 1/8	1	7/8	3/4	5/8
	3	2 1/16	1 5/8	1 1/2	1 1/8	1 1/4	1
20	1	1 1/8	1 1/32	15/16	3/4	21/32	9/16
	2	1 1/2	1 3/8	1 1/4	1	7/8	3/4
	3	2 1/4	2 1/16	1 7/8	1 1/2	1 5/16	1 1/8

CUADRO 6.8

DETERMINACION DEL GRADO ESTRUCTURAL EN LA MADERA RETORCICA, SEGUN LARGO Y SECCION TRANSVERSAL DE LA MISMA.

LARGO PIES	GRADO ESTRUCTURAL	SECCION TRANSVERSAL DE LA PIEZA EN PLG.					
		2 x 3	2 x 4	2 x 6	2 x 8	2 x 10	2 x 12
6	1	1/4	1/4	3/8	9/16	11/16	13/16
	2	3/8	3/8	1/2	3/4	7/8	1 1/8
	3	1/2	1/2	3/4	1 1/8	1 3/8	1 5/8
8	1	3/8	3/8	9/16	3/4	15/16	1 1/8
	2	1/2	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2
	3	3/4	3/4	1 1/8	1 1/2	1 7/8	2 1/4
10	1	7/16	7/16	11/16	15/16	1 3/16	1 3/8
	2	5/8	5/8	7/8	1 1/4	1 1/2	1 7/8
	3	7/8	7/8	1 3/8	1 7/8	2 3/8	2 3/4
12	1	9/16	9/16	13/16	1 1/8	1 3/8	1 11/16
	2	3/4	3/4	1 1/8	1 1/2	1 7/8	2 1/4
	3	1 1/8	1 1/8	1 5/8	2 1/4	2 3/4	3 3/8
14	1	5/8	5/8	15/16	1 5/16	1 5/8	1 15/16
	2	7/8	7/8	1 1/4	1 3/4	2 1/8	2 5/8
	3	1 1/4	1 1/4	1 7/8	2 5/8	3 1/4	3 7/8
16	1	3/4	3/4	1 1/8	1 1/2	1 7/8	2 1/2
	2	1	1	1 1/2	2	2 1/2	3
	3	1 1/2	1 1/2	2 1/4	3	3 3/4	4 1/2
18	1	13/16	13/16	1 1/4	1 11/16	2 1/8	2 1/2
	2	1 1/8	1 1/8	1 5/8	2 1/4	2 3/4	3 3/8
	3	1 5/8	1 5/8	2 1/2	3 3/8	4 1/4	5
20	1	15/16	15/16	1 3/8	1 7/8	2 5/16	2 13/16
	2	1 1/4	1 1/4	1 7/8	2 1/2	3 1/8	3 3/4
	3	1 7/8	1 7/8	2 3/4	3 3/4	4 5/8	5 5/8

6.2.4 RAJADURAS

Las rajaduras de superficie son permitidas con ciertas limitaciones para cada grado estructural.

6.2.4.1 GRADO ESTRUCTURAL 1

Las rajaduras se permiten si no atraviesan la madera. La rajadura puede ser tan larga como el ancho de la pieza.

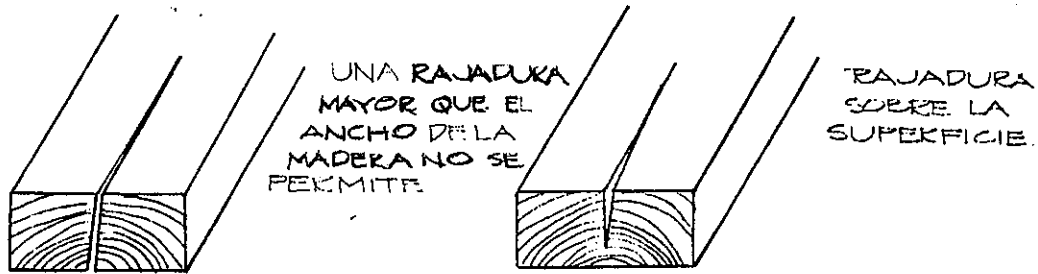


FIGURA 6.38

6.2.4.2 GRADO ESTRUCTURAL 2

Las rajaduras se permiten. Si las rajaduras son profundas, éstas pueden tener de largo 1.5 veces el ancho de la pieza.

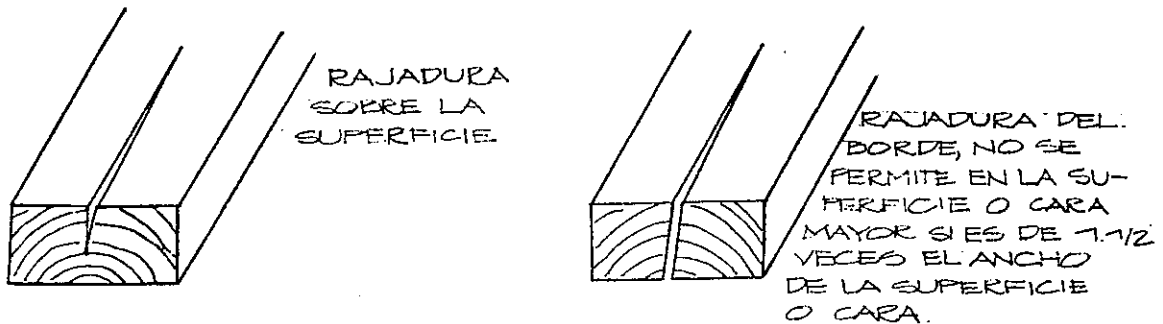


FIGURA 6.39

6.2.4.3 GRADO ESTRUCTURAL 3

Las rajaduras de superficie son permitidas, si las rajaduras son profundas y largas no deben exceder 1/16 de la longitud de la pieza.

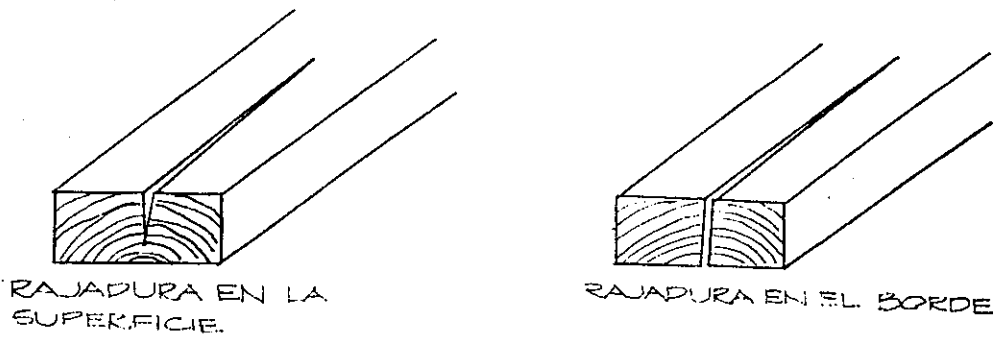


FIGURA 6.40

6.2.5 HENDIDURAS

Estas dependen de la profundidad que tienen en la pieza.

6.2.5.1 GRADO ESTRUCTURAL 1

Las hendiduras no deben ser más profundas que la mitad del grosor.

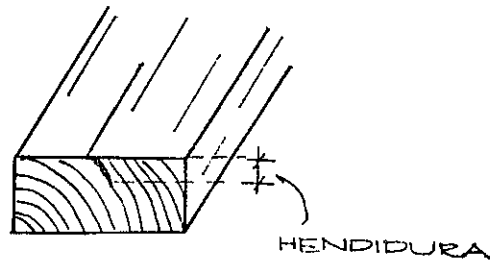


FIGURA 6.41

6.2.5.2 GRADO ESTRUCTURAL 2

Las hendiduras no deben ser más profundas que la mitad del grosor, si éstas se encuentran en los extremos. Las hendiduras más allá del extremo pueden llegar a una distancia de 2 pies (60.96 cm). Las hendiduras a los lados de la madera no pueden ser más profundas que $3/4$ del grosor.

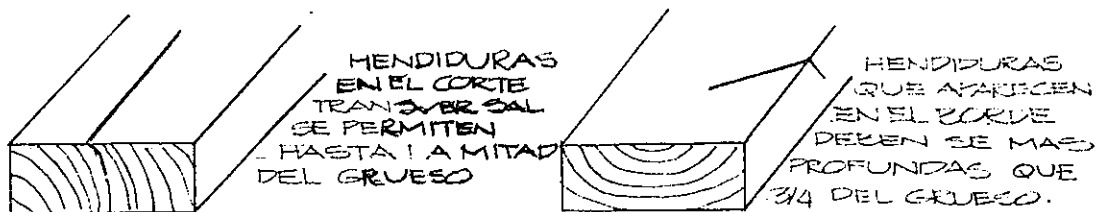


FIGURA 6.42

6.2.5.3 GRADO ESTRUCTURAL 3

Las hendiduras se permiten hasta 1/16 del largo de la pieza.

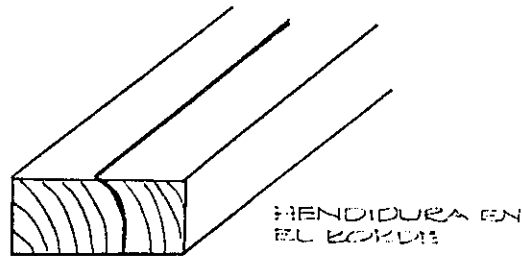


FIGURA 6.43

6.2.6 CEPILLADO INCOMPLETO

6.2.6.1 GRADO ESTRUCTURAL 1

El cepillado incompleto es permitido si no es mayor de 1/16 de pulgada (0.16 cm) de profundidad y, solamente, el 10% de las piezas que componen la muestra puede tener el defecto.

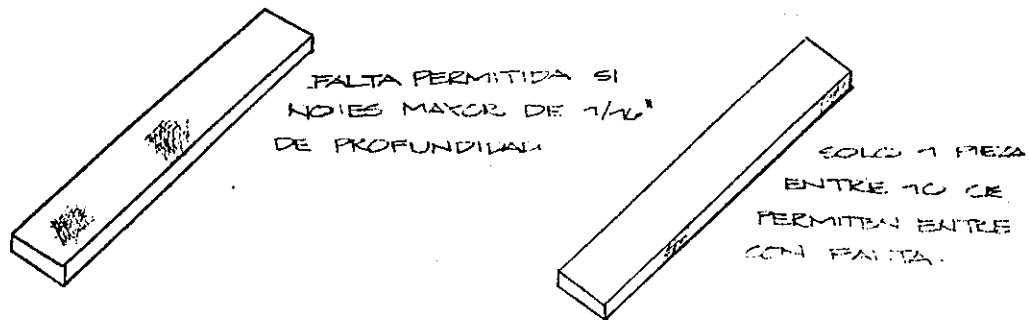


FIGURA 6.44

6.2.6.2 GRADO ESTRUCTURAL 2

El 20% de las piezas que componen la muestra puede tener el defecto a todo lo largo, siempre que no exceda 1/16 de pulgada (0.16 cm) de profundidad. También, el 20% puede tener el defecto, pero si tiene hasta 1/8 de pulgada (0.32 cm) de profundidad, pero, no más de 2 pies (60.96 cm) de largo.

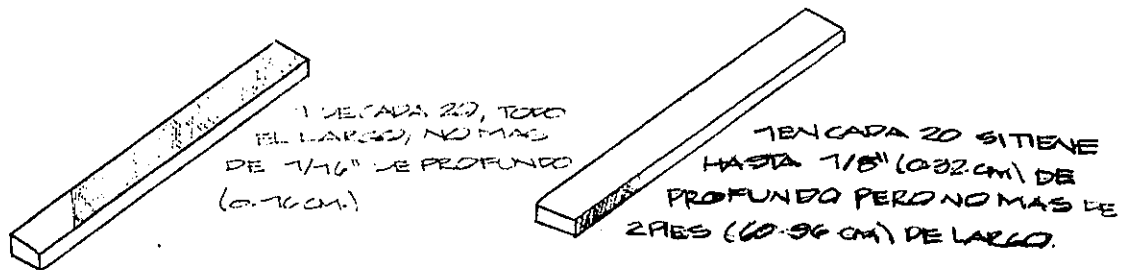


FIGURA 6.45

6.2.6.3 GRADO ESTRUCTURAL 3

Puede tener el defecto a todo lo largo de la pieza con 1/16 de pulgada (0.16 cm) de profundidad. Si la profundidad es de 1/8 de pulgada (0.32 cm) se permite que un 10% de las piezas que componen la muestra tengan el defecto.

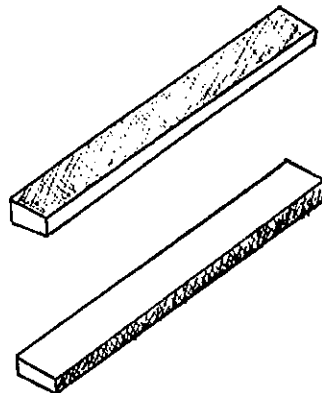


FIGURA 6.46

6.2.7 GRADO DE INCLINACION O DECLIVE DEL GRANO O FIBRA DE LA MADERA

6.2.7.1 GRADO ESTRUCTURAL 1

Se permite una inclinación de 1 pulgada (2.54 cm) en 10 pulgadas (25.4 cm) de largo.

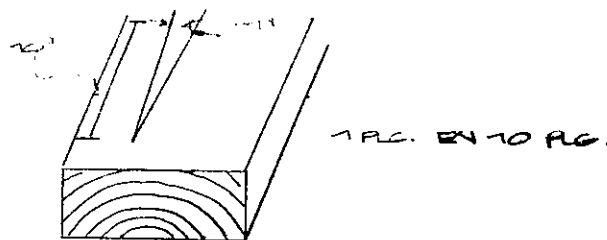


FIGURA 6.47

6.2.7.2 GRADO ESTRUCTURAL 2

Se permite una inclinación de 1 pulgada (2.54 cm) en 8 pulgadas (20.32 cm) de largo.

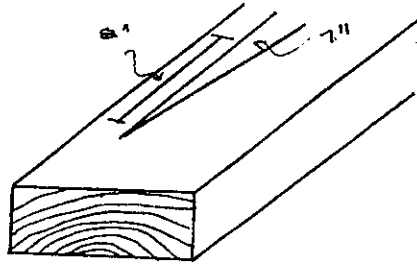


FIGURA 6.48

6.2.7.3 GRADO ESTRUCTURAL 3

Se permite una inclinación de 1 pulgada (2.54 cm) en 4 pulgadas (10.16 cm) de largo.

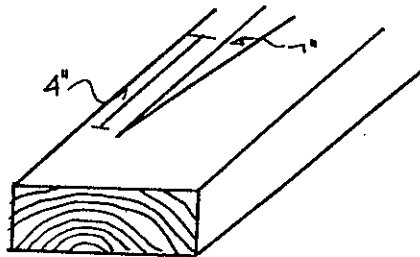


FIGURA 6.49

6.2.8 FRACTURAS

6.2.8.1 GRADO ESTRUCTURAL 1

Las fracturas pueden ser tan largas, como el ancho de la madera.

6.2.8.2 GRADO ESTRUCTURAL 2

Las fracturas pueden tener de longitud 1.5 veces el ancho de la pieza.

CUADRO 6.9

SECCION PULGADAS	LONGITUD DE LA FRACTURA. PULGADAS	LONGITUD DE LA FRACTURA. CENTIMETROS
2 x 4	6	15.24
2 x 6	9	22.86
2 x 8	12	30.48
2 x 10	15	38.10
2 x 12	28	45.72

6.2.8.3 GRADO ESTRUCTURAL 3

Las fracturas pueden tener 1/6 de la longitud de la pieza.

6.2.9 MANCHA O TINTE

Este defecto es permitido en los tres grado estructurales.

6.2.10 GEMO O DECADENCIA DE LA MADERA

6.2.10.1 GRADO ESTRUCTURAL 1

Se permite 1/4 del grosor y 1/4 del ancho de la piezas, no hay límite en la longitud. También, se permite que el 5% de las piezas de la muestra tengan este defecto hasta 1/2 del grosor y 1/3 del ancho por 1/4 del largo.

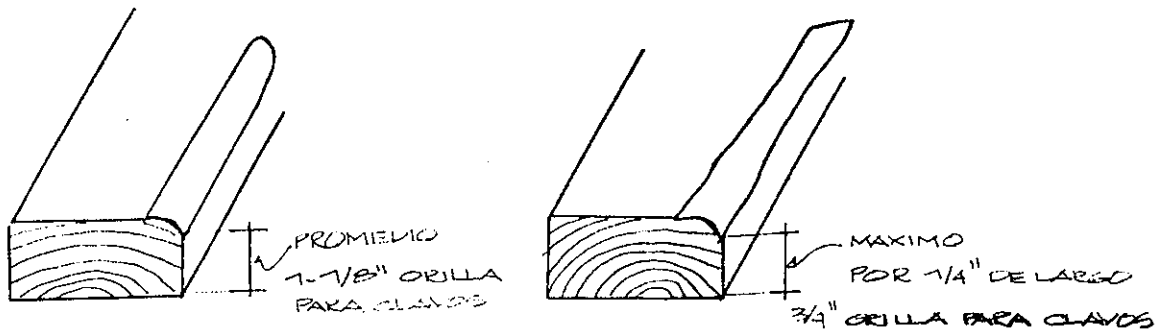


FIGURA 6.50

6.2.10.2 GRADO ESTRUCTURAL 2

Se permite 1/3 del grosor y 1/3 del ancho de las piezas de la muestra, no hay límite en la longitud. También, se permite que el 5% de las piezas tengan este defecto hasta 2/3 del grosor y 1/2 del ancho por 1/4 del largo.

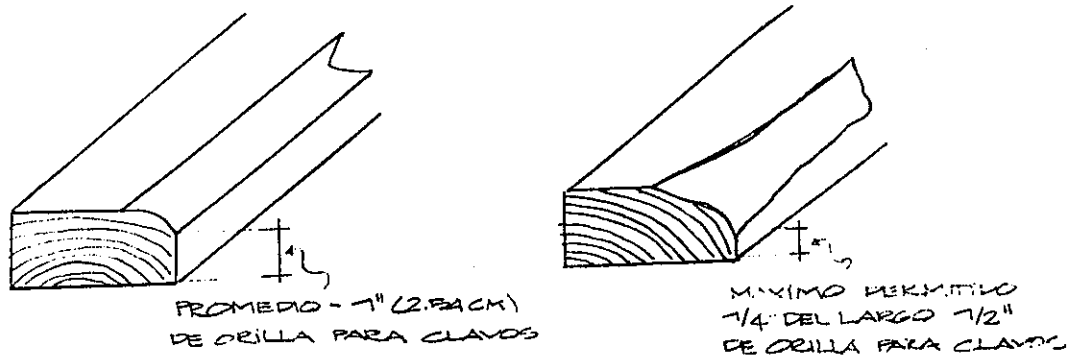


FIGURA 6.51

6.2.10.3 GRADO ESTRUCTURAL 3

Se permite 1/2 del grosor y 1/2 del ancho, no hay límite en la longitud. También, el 5% de las piezas de la muestra pueden tener este defecto hasta 7/8 del grosor y 3/4 del ancho por 1/4 del largo.

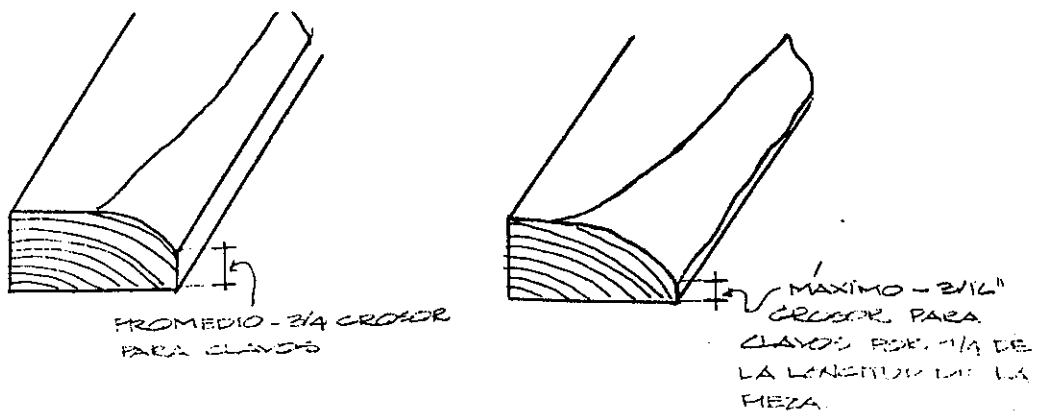


FIGURA 6.52

CAPITULO 7

DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE MADERA

La madera como producto natural es susceptible de ser atacada por agentes que la deterioran, destruyen o disminuyen su calidad. A continuación se da una descripción de los principales agentes que la afectan.

7.1 DESTRUCCION POR DETERIORO (PUDRICION)¹

A. MOHOS Y HONGOS CROMOGENOS

Estos organismos no afectan necesariamente la resistencia de la madera, ya que se alimentan del contenido de las celdillas y no de las celdillas mismas. Estos organismos, para atacar la madera, requieren un contenido de humedad superior a la saturación de la fibra (27 a 32% de contenido de humedad).

1.- MOHOS

Su presencia se hace evidente por un crecimiento algodonoso en la superficie de la madera. Su color varía desde el blanco hasta el negro. Aparecen cuando hay abundancia de humedad. Cuando la madera está seca, pueden ser barridos o cepillados, y nunca afectan seriamente la resistencia de la madera.

2.- HONGOS CROMOGENOS

Penetran en la madera impartándole coloración y afectando ligeramente su resistencia física. Representantes típicos son ciertas especies de género *Ceratocystis*, causantes de la mancha azul.

B. HONGOS XILOFAGOS

Organismos que afectan las propiedades físicas y químicas de las paredes de las células, minando seriamente la resistencia física de la madera.

Estos organismos provocan la llamada pudrición de la madera. La mayoría de estos hongos atacan la madera después de que el árbol ha muerto, pero hay algunas especies que atacan al árbol vivo, después de alguna herida o debilitamiento de su condición física causada por insectos. Según el efecto producido por el hongo, algunos autores consideran tres tipos principales de pudrición: Pudrición Suave, Pudrición Blanca y Pudrición Parda.

La "Pudrición Suave o Blanda" es causada por hongos destructores de celulosa, pertenecientes a los grupos ascomicetos y hongos imperfectos. Se caracteriza por ser superficial, degradando la madera hasta adquirir una consistencia grasosa, de color oscuro.

Los hongos causantes de la "Pudrición Blanca" son aquellos que destruyen todos los componentes de la madera (lignina y carbohidratos), el material residual semeja un esqueleto de madera sin coloración oscura.

El tercer grupo comprende a los hongos de la "Pudrición Parda", que descomponen a la celulosa y sus pentosas asociadas, afectando poco o nada a la lignina. La parte atacada se contrae formando hendiduras perpendiculares u oblicuas que dan una apariencia cubicada a la madera podrida.

¹ Tomado de referencia No. 11.

Estos dos últimos tipos de pudrición son causados por hongos basidiomicetos.

7.2 DESTRUCCION POR INSECTOS²

1. ESCARABAJOS DE DIFERENTES TIPOS

Ambrosia, de Corteza, Perforadores de Cabeza Redonda, de Cabeza Plana, etc. Los huevecillos son depositados en los poros de la madera, de donde nace la larva que perfora túneles en el interior.

2. TERMITAS

Tanto subterráneas como no subterráneas, se alimentan de madera y la utilizan como habitación, perforando túneles que la debilitan seriamente.

3. HORMIGAS CARPINTERAS

Aunque no se alimentan de madera, la perforan con objeto de fabricar galerías habitables.

7.3 DESTRUCCION POR PERFORADORES MARINOS²

Se pueden dividir en dos clases:

a) MOLUSCOS

Como Teredo y Bankia. Las larvas de estas especies son nadadores, se adhieren a la madera bajo la línea de agua y perforan haciendo pequeños orificios en el exterior, penetrando y quedando encarceladas de por vida. A medida que el animal crece, agranda su celda. Estos animales son llamados también gusanos de barco.

b) MARTESIA

Su cuerpo está contenido en una concha bivalva, pero al igual que los gusanos, penetra en la madera y queda aprisionada en ella.

CRUSTACEOS

c) LIMNORIA, SPHAEROMA Y CHELURA

Estos animales no se encarcelan en la madera, sólomente la perforan.

7.4 DESTRUCCION POR DESGASTE MECANICO³

El desgaste en la madera puede ser causado por el movimiento continuo o repetitivo de una carga aplicada sobre ésta. Un caso típico ocurre en los durmiente de la línea de ferrocarril. Esto ocurre también en pisos de fábricas, y en escaleras de madera. En el pasado la madera no tratada solo duraba algunos años, un período que no es lo suficientemente largo, el cual permitía un desgaste mecánico de un grado significativo. En el presente, el tratado de la madera con preservativos resiste la acción de hongos e insectos exitosamente, la falla mecánica debido al desgaste puede convertirse en un factor determinante de la vida útil de la estructura.

El tratamiento de la madera incrementa la resistencia al desgaste mecánico indirectamente, por la prevención a la pudrición de ésta, en cambio reduce la dureza original del material.

² Tomado de referencia No. 11.

³ Tomado de referencia No. 5.

7.5 DESTRUCCION POR FUEGO⁴

La facilidad con que una madera se inflama depende de la especie; sin embargo, son más significativos los factores siguientes: grado de sequedad de la madera, temperatura de la fuente de calor, duración de la exposición, tamaño y forma de la madera y detalles de la construcción, la madera seca arde más fácilmente que la madera húmeda y la madera podrida más que la sana.

La facilidad de la combustión aumenta a medida que aumenta la temperatura. A 400°C todas las maderas arden espontáneamente; la madera arde a 275°C cuando es expuesta por un periodo suficientemente largo de tiempo, el material se carboniza en la superficie sin alcanzar a producir llama.

El método preservativo para la combustión de la madera se reduce a elevar su temperatura de combustión y evitar la producción de llama, por medio de sustancias químicas que impregnadas en la madera, producen ciertos gases que retardan su combustión y destrucción.

El medio ambiente influye en la duración de la madera, por ejemplo: el aire seco, fresco y renovado, favorece la conservación; la humedad y el calor favorecen el desarrollo de agentes destructores, así como también las variaciones de humedad.

La temperatura influye en la desorganización de los tejidos leñosos por fermentación de la savia, en particular entre 38° y 48°C.

7.6 PRESERVACION DE LA MADERA⁵

Las condiciones que favorecen el desarrollo de los agentes destructores de la madera son:

Temperatura

Humedad

Oxígeno

Alimento

De las condiciones requeridas para el desarrollo de los agentes destructores de la madera, se deduce que el factor más fácilmente controlable es el alimento de estos agentes. Precisamente, la preservación de la madera tiene por objeto modificar la constitución química de la madera, haciéndola no apetecible para estos organismos. Esto se lleva a cabo aplicando productos conocidos como preservadores para madera.

7.6.1 PRESERVADORES PARA MADERA

Son compuestos sólidos que requieren un solvente (vehículo) para poder penetrar en la madera y se agrupan según el tipo de solvente necesario. Así, los hay solubles en aceites y solubles en agua. En general deben reunir las siguientes características:

1. Ser altamente tóxicos a los organismos destructores de la madera, en concentraciones mínimas.
2. Poseer alta capacidad de penetración en la madera.
3. Ser capaces de permanecer inalterados largo tiempo, y resistir lixiviación e intemperismo.
4. Ser seguros de manipular, sin peligro para la salud.

⁴ Tomado de referencia No. 5.

⁵ Tomado de referencia No. 11.

5. No dañar la madera ni ser corrosivos a los metales.
6. Ser accesibles y económicos tanto en el mercado como en sus métodos de aplicación.

Para propósitos específicos, deben ser además limpios y compatibles con adhesivos, pinturas y barnices.

7.6.2 IMPREGNACION, RETENCION Y PENETRACION

Cuando una madera contiene preservador, se dice que está impregnada y el grado de impregnación, llamado retención, indica qué cantidad en peso de preservador está contenido en un volumen determinado de madera.

Este contenido (retención) puede expresarse en kilogramos por metro cúbico, o bien en libras por pie cúbico.

Se entiende por penetración la profundidad que alcanza el preservador en la madera.

Esta penetración puede ser parcial o total, según sea la permeabilidad de la madera, o su dimensión. En general, la albura se penetra con mayor facilidad que el duramen.

7.6.3 TIPOS DE TRATAMIENTO

Los tratamientos preservadores para madera son numerosos y variados. A continuación se exponen brevemente los principales tipos de tratamiento actualmente en uso.

1. PROCESOS SIN PRESION

- a) Inmersión
- b) Baño
- c) Aplicación con brocha
- d) Aspersión

2. DIFUSION EN MADERA VERDE

3. PROCESOS A PRESION

- a) Célula Vacía
- b) Célula Llena

1. PROCESOS SIN PRESION

Estos procesos son superficiales y su grado de protección es limitado.

a) INMERSION

Este proceso no requiere autoclave ni equipo de presión o vacío. Se emplea solamente una cuba de tratamiento en donde se sumergen cargas de madera durante breves instantes. En este caso se utilizan generalmente preservadores con solvente orgánico.

b) BAÑO

La madera se coloca por un período prolongado en su estanque con líquido preservador, que penetra por absorción o por difusión, según sea el contenido de humedad de la madera. Sus resultados son superiores a la simple inmersión, sin embargo la protección obtenida es también limitada.

c) APLICACION CON BROCHA

Estos tratamientos brindan protección muy limitada y sólo se emplean como mantenimiento o protección temporal.

d) ASPERSION

Aquí, es necesario el empleo de un túnel de tratamiento a través del cual se impulsan mecánicamente piezas individuales de madera y durante el trayecto son rociadas con preservador. El tratamiento por este método retiene poco preservador. Su uso más común es para aplicar fungicidas antimancha.

2. DIFUSION

La madera en estado verde se sumerge en soluciones preservadoras de alta concentración y se apila durante un periodo de alrededor de 30 días, que permite la difusión de los preservadores antes de que la madera seque. Estos métodos emplean preservadores hidrosolubles a base de boro, o formulaciones complejas tipo Fluor-cromo-arsénico-fenol.

Este proceso tiene limitaciones en sus aplicaciones debido a que los preservadores empleados son altamente lixiviables.

3. PROCESO A PRESION

a) CELULA VACIA

Existen dos modalidades de este método. El proceso Rueping consiste en colocar la carga en el cilindro e inyectar primero aire a presión. A continuación, manteniendo esta presión se aplica la solución preservadora y se bombea hasta alcanzar la presión hidráulica especificada. Por último se evacúa el líquido y se efectúa el vacío final.

La segunda modalidad recibe el nombre de proceso Lowry y es semejante al anterior con la excepción de que al principio del tratamiento no se inyecta aire a presión. Se emplean estos procesos a tratamientos con creosota y preservadores oleosos. Este proceso se llama así porque el preservador queda en las paredes celulares, pero las cavidades celulares quedan vacías.

b) CELULA LLENA

En este método, la madera se coloca en un cilindro o autoclave, y se aplica un vacío inicial. Se llena el cilindro con una solución preservadora hasta alcanzar la presión hidráulica especificada. Esta presión se mantiene el tiempo suficiente para obtener el grado de tratamiento deseado (retención y penetración). A continuación se drena el cilindro y se aplica opcionalmente un vacío final que limpia la superficie de la carga para facilitar su manejo. En este proceso se emplean preservadores hidrosolubles y las células quedan con sus cavidades celulares llenas de líquido, que al evaporarse depositan los tóxicos en las paredes celulares.

CAPITULO 8

TIPOS DE UNIONES

Para unir los elementos estructurales entre sí se emplean diversos dispositivos, buscando que tengan la seguridad, rigidez y economía necesarios en la estructura; algunas piezas empleadas para este objeto son de madera y otros son metálicos.

8.1 UNIONES DE MADERA¹

8.1.1 JUNTAS DE MADERA EMPLEANDO COLA Y CLAVOS

Como su nombre lo indica, las juntas de madera con cola y clavos, son elementos constitutivos de una estructura, que transmiten de una pieza a otra las cargas aplicadas.

El comportamiento de estos empalmes dependen de las características de la madera usada y de la clase de cola.

En cuanto a la madera, la variabilidad es tan grande que aún en piezas de una misma especie existen diferencias notables de una muestra con otra, por lo que únicamente es posible predecir resultados promedios y hacer clasificaciones de acuerdo con estos resultados.

La cola por ser un producto elaborado de acuerdo a especificaciones establecidas facilita más una clasificación.

De una manera general, las colas pueden clasificarse en:

1. Colas provenientes de residuos orgánicos, en desuso por su poca resistencia al agua y a su alto costo.
2. Colas derivadas de proteínas vegetales (fécula), caseína y sales de sodio, de uso muy generalizado en la construcción de madera laminada. Tiene la ventaja de ser moderadamente resistente a la acción del agua y ser además de bajo costo.
3. Colas derivadas de resinas sintéticas, por su gran resistencia al agua esta clase de colas han adquirido mucha importancia, actualmente son las más usadas en la manufactura de plywood. De este tipo las más importantes son las provenientes de formaldehidos de fenol, urea, melanina, y compuestos de vinilo. Cada cola tiene sus usos y propósitos particulares y no se puede decir que haya un tipo que sea superior a las otras en todos sus aspectos, pero para la fabricación de empalmes de madera, se ha generalizado el uso de las colas de resinas plásticas y las de caseína.

8.1.2 JUNTAS DE MADERA EMPLEANDO CLAVOS

Los clavos son los sujetadores metálicos más comúnmente usados en uniones de madera. Por la forma de la punta del vástago y el recubrimiento de éste, se pueden distinguir los diferentes tipos de clavos señalados a continuación:

8.1.2.1 POR LA FORMA DE LA PUNTA

De punta larga, que son los de mayor resistencia, pero si la clase de madera tiene la tendencia de rajarse, este tipo de clavo la acentuará, y por lo tanto la resistencia debe ser reducida.

¹ Tomado de referencia No. 3.

Los romos o sin punta, reducen el rajado pero acusan la destrucción de la fibra de las maderas cuando son introducidos, lo que reduce su resistencia a valores menores que los de los comunes. Los romos ahuzados no causan rajado como los comunes y tienen una resistencia igual cuando son usados en maderas finas, pero su resistencia a la extracción es menor que la de los clavos comunes cuando son usados en maderas de menor densidad.

- Forma de la punta: a) punta larga
b) común
c) romos
d) romos ahuzados

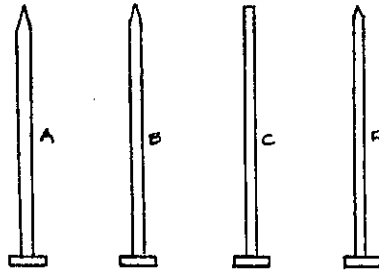


FIGURA 8.1

8.1.2.2 FORMA DEL VASTAGO

- a) barbado
- b) acanalados
- c) en espiral
- d) cuadrados
- e) triangulares

8.1.2.3 POR SU RECUBRIMIENTO

Respecto al recubrimiento superficial del vástago, los clavos pueden ser: limpios, galvanizados, o recubiertos de cemento. El clavo cementado da más resistencia a la extracción que el limpio. El cementado previene la corrosión y da un ligero aumento de resistencia a la extracción, cuando el recubrimiento sea parejo; si el recubrimiento tiene irregularidades, en lugar del aumento, se experimenta una disminución de la resistencia.

8.1.2.4 RESISTENCIA A LA EXTRACCION

Esta depende directamente de la dirección de penetración del clavo, su diámetro, forma y recubrimiento del vástago, modo de introducción del clavo, ya sea directamente o en agujero guía, así como de la especie, peso específico y contenido de humedad de la madera.

8.1.3 JUNTAS DE MADERA EMPLEANDO TORNILLOS

Por lo general se conocen los comunes y los tirafondo. Los primeros, como su nombre lo indica, son los más corrientemente usados. Los segundos, son esencialmente tornillos largos con

cabeza en forma de tuerca, y que requieren agujeros guías, son usados en lugar de pernos, en sitios en los cuales se dificulta su colocación o donde la presencia de una tuerca sea objetable.

8.1.3.1 RESISTENCIA A LA EXTRACCION

Esta, como en los clavos depende principalmente de la especie, la dirección de la penetración, su diámetro, el diámetro del agujero guía, el peso específico y humedad de la madera.

8.1.4 JUNTAS DE MADERA EMPLEANDO PERNOS

Por la calidad del material se puede clasificar los pernos en comunes, con un esfuerzo cedente de 3200 kg/cm², y los de alta resistencia con un esfuerzo cedente mayor.

8.1.4.1 RESISTENCIA CON CARGA PARALELA O PERPENDICULAR A LAS FIBRAS

Pruebas efectuadas en el laboratorio de productos forestales de E.E.U.U., han demostrado que existe una relación definida entre el largo y el diámetro del perno en el valor de su resistencia. Esto significa que el valor de resistencia de la madera puede ser expresado en términos de la relación de la longitud del perno a su diámetro en el miembro principal de la junta.

Además las pruebas han demostrado que esta relación existe sin importar el tamaño del perno, ello quiere decir que un perno de 12.7 mm de diámetro en un miembro de 20 mm de espesor, tendrá la misma resistencia que un perno de 25.4 mm de diámetro con un miembro de 40 mm de espesor, sin embargo, cuando la carga es aplicada perpendicular a las fibras, es necesario aplicar un factor de corrección que depende del diámetro del perno.

8.2 UNIONES METALICAS²

Su empleo ha venido a simplificar muchísimo el problema de unión entre elementos estructurales, antes de su advenimiento, el empleo de piezas de madera en tensión era casi impracticable por la dificultad que presentaba al unir estas piezas con el resto de la estructura, hoy tales uniones se logran con igual sencillez para piezas en tensión o compresión. El estudio en el taller de los detalles constructivos, así como su correcta ejecución en la obra, son bases primordiales para el empleo con éxito de estos conectores.

El proyecto tiene que basarse en las especificaciones y datos de resistencia proporcionados por el ingeniero.

Básicamente, los conectores para madera son anillos metálicos o placas fabricadas que se introducen parcialmente en cada cara de miembros adyacentes para transmitir las cargas de un miembro a otro, con pernos de diámetro relativamente pequeño. El objetivo es obtener una eficiencia mayor en la junta que permita el uso de piezas más cortas y secciones transversales menores. En los métodos que se usaban en el pasado, las juntas en las armaduras eran con frecuencia la parte más débil de la estructura. Con los conectores para madera es posible desarrollar todo el esfuerzo permisible de la madera.

Probablemente, el tipo conector que se usa con mayor frecuencia es el conector de anillo partido. Su objeto es transmitir cargas entre dos piezas de madera. Los anillos partidos se colocan en ranuras cortadas quedando incrustadas parcialmente en la cara de cada pieza. El ensamble de caja y espiga que forma el anillo permite el apoyo simultáneo de la superficie interior del anillo contra el núcleo que se deja en la ranura y la superficie exterior del anillo contra la pared exterior de la

² Tomado de referencia No. 12.

ranura. El ajuste en forma de cuña del anillo partido permite armarlo con facilidad. Después que se ha insertado el anillo partido en la ranura, las dos piezas se sujetan entre sí con pernos y roldanas, los pernos se colocan en agujeros que son concéntricos con los anillos. El anillo partido de 2 1/2" (6.35cm) se usa en madera de ancho mínimo de 3 5/8" (9.21cm). El anillo partido de 4" (10.16cm) es el conector para madera más común. Se usa en madera que tiene un ancho mínimo de 5 1/2" (13.97cm).

8.2.1 CONECTOR DE ANILLO DENTADO

Transmite las cargas entre dos miembros de madera, especialmente en los entramados de madera relativamente ligeros. No son necesarias las ranuras para instalar los anillos dentados, porque se incrustan en las caras de la madera a presión. Se usan los anillos dentados de 2, 2 5/8, 3 3/8, y 4 plg (5.08, 6.67, 8.57, y 10.16 cm) en madera que tenga un ancho mínimo de 3, 3 5/8, 4 5/8, y 5 1/2 plg (7.62, 9.21, 11.75, y 13.97 cm), respectivamente.

8.2.2 PLACA PARA CORTANTE

Se ha proyectado especialmente para hacer conexiones de la madera con acero y de madera con madera en estructuras desmontables cuando se usan en pares. Las placas quedan al ras con la superficie de la madera, y se ajustan en agujeros recortados en las caras de la madera. Se usan para unir columnas de madera a las zapatas con la adición de tiras de acero y para hacer varias conexiones de acero a madera en las estructuras de madera.

8.2.3 PLACA SUJETADORA

Se usa principalmente para mantener la separación de los durmientes en las estructuras de ferrocarril sin balasto o donde las piezas se traslapan en ángulo recto. Se colocan en su lugar por medio de un mazo y una placa de protección.

8.2.4 REJILLA DENTADA

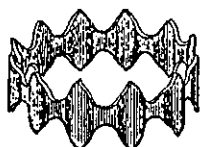
Se usa en los pilotes y postes en la construcción de caballetes, de muelles y puertos, y en las líneas de transmisión. Se incrustan en las superficies de la madera a presión. La rejilla circular se usa entre cabeza de un pilote y el cabezal para evitar movimientos laterales.



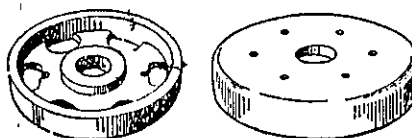
(a) Junta hecha con anillos partidos
Se hizo un corte en uno de los miembros para mostrar la posición de los anillos



(b) Anillo partido



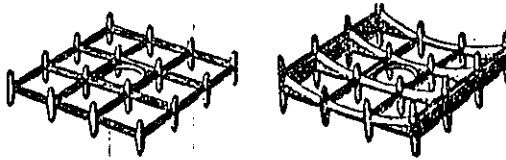
(c) Anillo dentado



(d) Conectores de placa para cortante



(e) Placas sujetadoras



(f) Rejillas dentadas

FIGURA 8.2

8.2.5 PLACAS TECO

En un método más reciente para construir armaduras ligeras se emplean las placas Teco para armaduras, como aparece en la figura. Son placas pre-perforadas rectangulares, fabricadas de lámina de acero galvanizada de calibre 20, colocadas en ambos lados sobre la intersección de los miembros de madera y se sujetan con clavos de 1 1/2" (3.81cm). Estas placas para armaduras se usan en las armaduras ligeras de un solo plano y, como los anillos partidos, proporcionan un sistema económico y eficiente para obtener claros libres sin necesidad de utilizar tabiques de carga. La separación en estas armaduras no debe exceder de 24" (60.96cm), centro a centro.

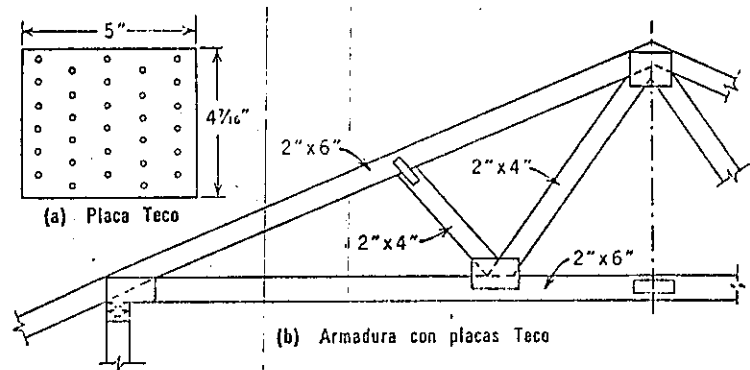


FIGURA 8.3

8.2.6 ANCLAS PARA ENTRAMADOS

Las anclas para entramados se usan mucho donde se necesitan nudos sencillos que sean más fuertes que los que se pueden obtener únicamente con clavos. Se usan en las construcciones con armaduras ligeras y son ideales para sujetar pares, viguetas, postes o cabezales. Las anclas Teco Trip-L-Grip se fabrican de lámina de acero galvanizada, resistente a la corrosión, de calibre 18. Se hacen en tres tipos básicos A, B Y C, con dobleces izquierdos y derechos para madera de las dimensiones usuales de 2" a 4" (5.08 a 10.16 cms) de espesor.

Cada ancla tiene una altura de $4 \frac{7}{8}$ " (12.38cm); el patín rectangular tiene un ancho de $1 \frac{5}{8}$ " (4.13cm); el triangular tiene un ancho de $2 \frac{3}{8}$ " (6.03cm), y las porciones dobladas en los tipos A y B tienen una longitud de $1 \frac{5}{8}$ " (4.13cm). Con las anclas se proporcionan clavos especiales. Los clavos entran apretados en los agujeros que tienen las anclas.

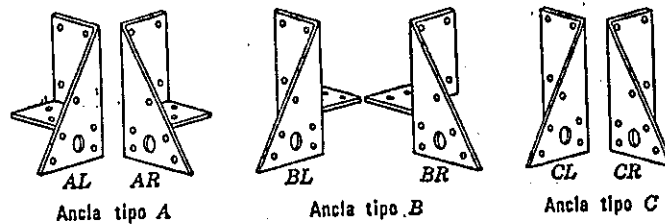


FIGURA 8.4

8.2.7 ABRAZADERAS

Son piezas de acero en forma de U, cuyos brazos terminan en una parte cilíndrica roscada, provista de una tuerca que se ajusta sobre una pequeña placa de acero atravesada por los dos brazos. Las abrazaderas se utilizan para reemplazar los pernos cuando son importantes los esfuerzos laterales o para obtener un ajuste más enérgico.

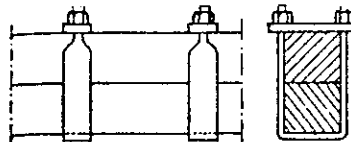


FIGURA 8.5

8.2.8 ESTRIBOS

Piezas en forma de U cuyos extremos rectos o doblados presentan perforaciones que dan paso a los pernos.

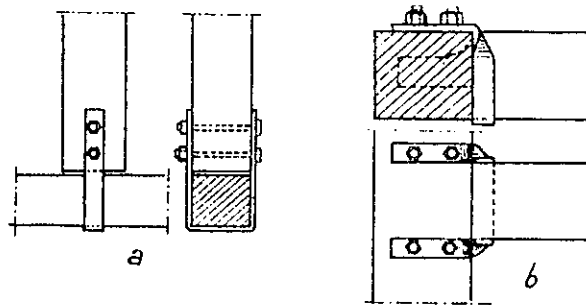


FIGURA 8.6

8.2.9 GRAPAS

Piezas planas de hierro, provistas de agujeros para el paso de pernos y cuyo extremo termina en una parte cilíndrica, roscada provista de una tuerca. Se emplean para la ensambladura de piezas perpendiculares entre si.

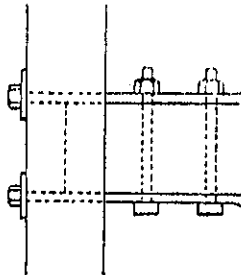


FIGURA 8.7

8.2.10 CHAPAS

Placas de acero que abrazan la ensambladura, reunidas y ajustadas por los pernos que atraviesan las piezas. A veces se doblan los extremos de la chapa y se los hinca en la madera.

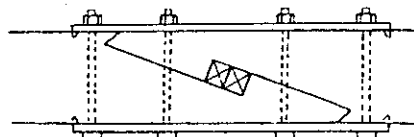


FIGURA 8.8

8.2.11 ESCUADRAS

Elementos de acero plano y de formas diversas (simples, dobles, en T o ronconeras, etc.) que se aplican sobre las piezas ensambladas y que se fijan mediante pernos o tornillos.

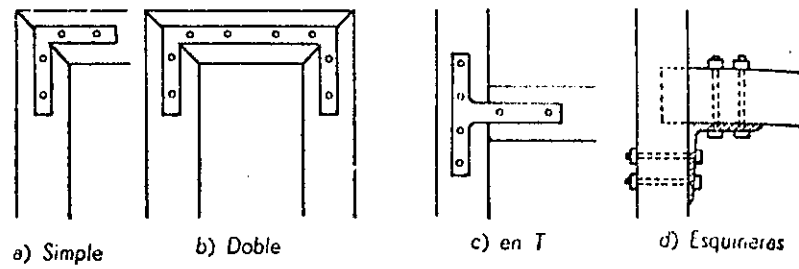


FIGURA 8.9

CONCLUSIONES

1. Es necesario conocer a fondo las propiedades, limitaciones y características especiales de la madera antes de hacer uso de ella.
2. Para lograr aprovechar en mejor forma los diferentes tipos de madera, es muy importante saber clasificarla para cada uso que se le de.
3. El diseñador de estructuras de madera debe poseer un amplio conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera.
4. Es importante conocer cuáles y cómo los defectos de la madera afectan las piezas estructurales, desde el punto de vista resistente.
5. Es importante saber evaluar las condiciones de uso de los elementos en una estructura, ya que éstas tienen gran influencia en la resistencia de la madera.
6. Un cálculo fundamental en el diseño, son las conexiones y anclajes, ya que es por medio de estas que los elementos de la estructura funcionan como un sistema.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que para cada diseño se use la madera más apropiada, es decir que sus propiedades estén de acuerdo al desempeño de su trabajo.
2. Fijar una condición específica de tratamiento para mejorar las características de la madera, según sea el uso al que se destine la misma.
3. Utilizar madera laminada para obras permanentes de gran envergadura, ya que ésta posee mejores características que la madera sólida, las cuales pueden ser controladas por ser ésta un material elaborado.
4. Ampliar la cobertura sobre el diseño en madera en los cursos que se imparten en la facultad, creando un curso específico referente al tema.

REFERENCIAS

1. **BARILLAS OLIVA, SERGIO ROLANDO**
CONSIDERACIONES Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA CASAS DE MADERA Y PLYWOOD.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,992.
TESIS INGENIERO CIVIL.

2. **CASTAÑEDA RIVEIRO, ARI RICARDO**
EFECTOS DEL TRATAMIENTO AL VACIO EN LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE UNA ESPECIE DE MADERA DE PINO.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,990.
TESIS INGENIERO CIVIL.

3. **FLORES MORALES, JOSE ENCARNACION**
USO TECNOLOGICO DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCION.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,970.
TESIS INGENIERO CIVIL.

4. **FROMENT, G.**
LAS MADERAS DE CONSTRUCCION.
EDITORIAL VICTOR LERU.
BUENOS AIRES, ARGENTINA, 1,954.

5. **GURFINKEL, GERMAN**
WOOD ENGINEERING.
KENDALL/HUNT PUBLISHING COMPANY.
SEGUNDA EDICION, 1,981.

6. **INSTITUTO NACIONAL FORESTAL**
ESPECIES UTILIZADAS INDUSTRIALMENTE EN GUATEMALA
UNIDAD DE EVALUACION Y PROMOCION.
DEPTO. DE SOCIO-ECONOMIA.
NOVIEMBRE 1,984.

7. **KRITSCHHEY, CHMILEVKY**
POSIBILIDADES DE USO DE LA MADERA CONTRACHAPADA.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,958.
TESIS INGENIERO CIVIL.

8. MERIDA MALDONADO, VILMER ABRAHAM
USO DE LA MADERA LAMINADA PEGADA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL;
VENTAJA DE SU APLICACION EN GUATEMALA.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,982.
TESIS INGENIERO CIVIL.

9. ORDOÑES MORALES, JOSE GRABRIEL
DETERMINACION DE ESFUERZOS REALES Y VALORES DE DISEÑO DE FLEXION
CON MADERA DE PINO ASERRADA, CLASIFICADA VISUALMENTE EN GRADOS
ESTRUCTURALES.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,993.
TESIS INGENIERO CIVIL.

10. ORUS ASSO, FELIX
MATERIALES DE CONSTRUCCION.
SEPTIMA EDICION, EDITORIAL DOSSAT, S.A.
MADRID, ESPAÑA, 1,985.

11. OSMOSE
PRESERVACION DE LA MADERA
OSMOSE MEXICANA S.A. DE C.V.
1,976.

12. PARKER, HARRY
DISEÑO SIMPLIFICADO DE ESTRUCTURAS DE MADERA.
EDITORIAL LIMUSA-WILEY, S.A.
MEXICO, 1,972

13. ZEA CORDON, ARTURO
ANALISIS ESTADISTICO Y ALGUNAS DE SUS APLICACIONES A LA
METEOROLOGIA
FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, 1968.
TESIS INGENIERO CIVIL.

BIBLIOGRAFIA

1. ALVAREZ PAZ, FERNANDO JOSE
PROYECTO DE FABRICACION DE PLANCHAS DE MADERA CONTRACHAPADA
PARA EL APROVECHAMIENTO DEL BOSQUE MUNICIPAL DE TECPAN.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,985.
TESIS INGENIERO CIVIL.

2. CASTEJON GUERRA, OVIDIO
ANALISIS TEORICO PRACTICO DE VIGAS COMPUESTAS DE MADERA
CORRIENTE Y MADERA CONTRACHAPADA.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,980.
TESIS INGENIERO CIVIL.

3. CHARGOY ESPINOZA, ALFONZO
DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA MADERA
DE PINUS PSEUDOSTROBUS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,987.
TESIS INGENIERO CIVIL.

4. HERRERA ACAJABON, EXEQUIEL
PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE TRES ESPECIES DE MADERA DE PETEN.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,991.
TESIS INGENIERO CIVIL.

5. MAYORGA PERALTA, HUGO EDUARDO
ESTUDIO DE LAS JUNTAS DE MADERA EMPLEANDO COLA Y CLAVOS.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,979.
TESIS INGENIERO CIVIL.

6. SOLORZANO NUÑEZ, ALBERTO
ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE JUNTAS EN MADERA DE PINO USANDO
CLAVOS, TORNILLOS Y PERNOS.
FACULTAD DE INGENIERIA.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, 1,981.

APENDICE

EJEMPLO DE APLICACION
(ARMADURA DE TECHO)

CRITERIO DE DISEÑO

CODIGO UBC - 1985

MADERA ASERRADA

CIPRES: grado A y B (ASTM - D - 245); 2 x 4 - 4 x 4 plg.

grado A para miembros verticales y B para miembros horizontales.

2 x 6 plg - mayores, grado B para ambos miembros.

CARGAS

Tabla # 2 : peso seco aparente = 0.51 gr/cm³ para cipres; se incrementa un 15% de humedad.

$$\rho = \frac{0.51 \times 100 \times 62.297}{85}$$

$$\rho = 37.39 \text{ lb/pie}^3$$

Distribución de cargas para un espaciamiento dado:

$$W = \rho b h / (144 \times A)$$

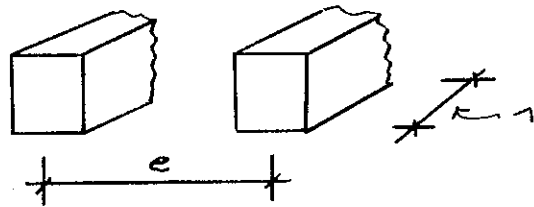
W = peso de la madera por unidad de área

ρ = peso específico de madera (lb/pie³)

b = ancho de sección (plg)

h = peralte de sección (plg)

A = área en la que se distribuye el peso de la sección (pie²) y depende del espaciamiento, centro a centro, entre miembros.



$$A = e \times l' = e$$

DE TECHO: (SECCION 2305 - UBC)

pendiente 4:12	
carga viva	20.0 psf
carga muerta	
lámina de asbesto cemento (sin traslapes) duralita tipo canaleta 3 mm.	1.0 psf
plywood de 1/2"	1.5 "
tendal 2 x 8 @ 16"	3.3 "
cargas miscelaneas	1.5 "
	<hr/>
	7.3 psf

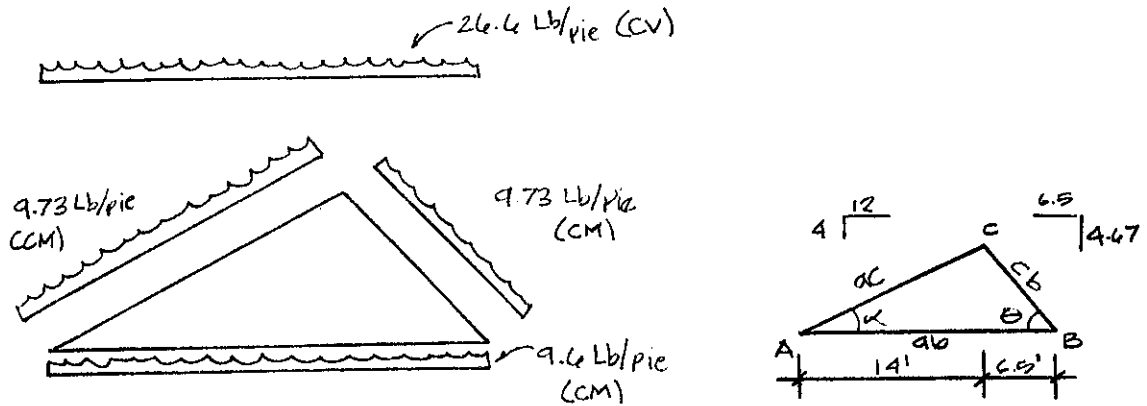
DE CIELO FALSO

carga viva	10.0 psf
carga muerta	
2 x 6 @ 16"	2.4 psf
machiembre	0.8 "
aislante	2.4 "
miscelaneas	1.4 "
	<hr/>
	7.2 psf

DE PISO

carga viva (residencial)	40.0 psf
carga muerta	
2 x 10 @ 16"	3.9 psf
plywood 5/8	1.8 "
alfombra	1.0 "
machiembre	0.8 "
miscelanea	1.4 "
	<hr/>
	8.9 psf

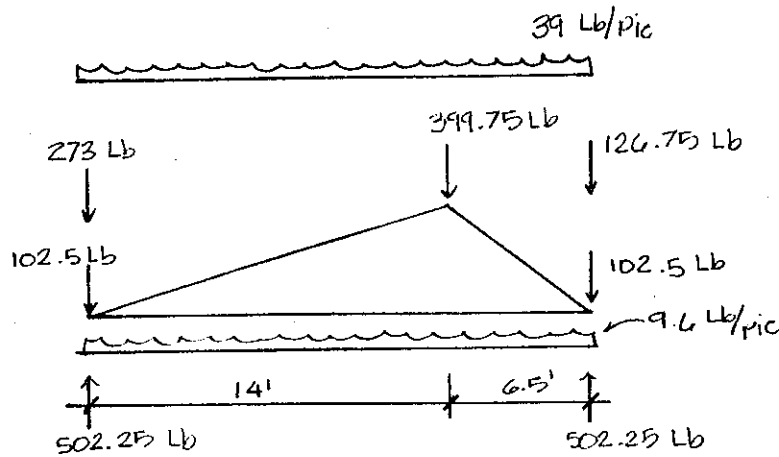
ARMADURA DE TECHO



Reducción de carga muerta a carga horizontal:

lado izq. $9.73 \times 12.5/12 = 10.25 \text{ lb/pie}$

lado der. $9.73 \times 8/6.5 = 11.93 \text{ ''}$



Trabajarla como estructura articulada.

$$R_A = R_B = (39 + 10) \times 10.25 = 502.25 \text{ lb}$$

Nudos

$$39 \times 7' = 273.00 \text{ lb}$$

$$39 \times 3.25 = 126.75 \text{ lb}$$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} \\ 399.75 \text{ lb}$$

$$10 \times 10.25 = 102.50 \text{ lb}$$

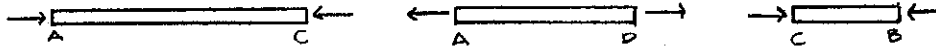
Nudo A

$$ac = (502.25 - 375.5) / \sin \alpha = 400.82 \text{ lb}$$

$$ab = ac \times \cos \alpha = 380.25 \text{ lb}$$

Nudo B

$$bc = ab / \cos \theta = 468.10 \text{ lb}$$



DISEÑO DE CORDONES

$$F_b = 1590 \text{ psi}$$

$$F_c = 695 \text{ "}$$

$$F_v = 71 \text{ "}$$

$$E = 1064514$$

$$k(DL) + LL = L/240$$

Factores:

$$FDL = 1.25$$

$$K = 1.0 \text{ (TABLA 23E, UBC)}$$

K, este factor afecta la carga muerta dependiendo del contenido de humedad, la condición de uso y del efecto de cedencia bajo carga sostenida.

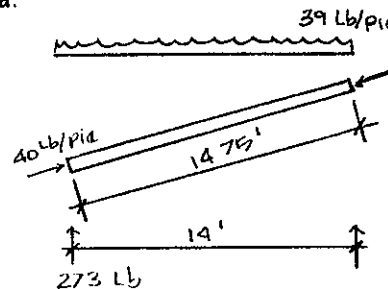
CORDON SUPERIOR (CS)

Sección 2 x 8 plg

$$S = 14.06 \text{ plg}^3$$

$$I = 52.73 \text{ plg}^4$$

$$A_g = 11.25 \text{ plg}^2$$



CHEQUEO POR COMPRESION

Según el tipo de unión se chequean los casos en base al área gruesa y/o al área neta.

$$f_c = 401 / 11.25 = 35.6 < F_c \text{ ok}$$

Estabilidad: esta condición no se chequea porque el plywood de la cubierta provee soporte lateral continuo.

FLEXION

$$M = S \times F_b \implies S = M / F_b = \frac{39 \times 14^2 \times 12}{8 \times 1890 \times 1.25} = 5.77$$

$$S = 5.77 < 14.06 \text{ ok}$$

CORTE

$$F_v = \frac{1.5 V}{F_v} = 1.5 \times 273 / (71 \times 1.25) = 4.61$$

$$4.61 < 11.25 \text{ ok}$$

DEFLEXION

$$\delta_{\max} = \frac{5WL^4}{384EI} = \frac{L}{240}$$

$$I = \frac{450WL^3}{E}$$

$$I = \frac{450 \times 39 \times 14^3}{1064514} = 45.34 < 52.73 \text{ ok}$$

Por ser un elemento sometido a flexo-compresión se chequea esta condición por medio de la fórmula de interacción.

Fórmula general:

$$\frac{f_c}{F_c} + \frac{f_b + f_c (6 + 1.5J) (e/d)}{F_b - Jf_c} \leq 1$$

No se considera excentricidad (e) ni el efecto P - δ

$$\frac{f_c}{F_c} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{3564}{695} + \frac{815.5}{1590} = 0.56 < 1 \text{ ok}$$

CORDON INFERIOR (CI)

$$A = 8.25 \text{ plg}^2$$

$$S = 7.56 \text{ plg}^3$$

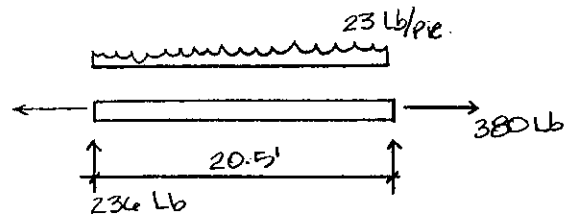
$$I = 20.08 \text{ plg}^4$$

$$\text{Carga (viva + muerta)} = 23 \text{ lb/pie}$$

CHEQUEOS

Tensión

$$380 / 8.25 = f_t = 46 \text{ psi} < 1590 \text{ ok}$$



Flexión

$$f_b = \frac{1.5 \times 20.5^2 \times 12}{8 \times 7.56} = 1918 < 1590 \times 1.25 \text{ ok}$$

CORTE

$$f_v = \frac{1.5 \times 236}{8.25} = 43 \text{ psi} < 71 \text{ ok}$$

DEFLEXION

$$I = \frac{450 \times 23 \times 20.5^3}{1064514} = 83.76 > 20.8 \text{ no}$$

INTERACCION

$$\frac{1918 + 46}{1590 \times 1.25} = 0.988 < 1 \text{ OK}$$

Sección que satisfaga la deflexión

2 x 8 \Rightarrow I = 52.73 no

2 x 10 \Rightarrow I = 98.93 ok

Aumento en la carga W

$$W = \frac{35.4 \times 1.5 \times 9.25}{144 \times 1.33} = 2.71 \text{ psf}$$

Carga muerta = 7.2 - 2.4 + 2.71 = 7.51 psf

Carga distri = (10 + 7.51) x 1.33 = 23.3 lb/pie

$$I = \frac{450 \times 23.3 \times 20.5^3}{1064514} = 84.85 < 98.93 \text{ ok}$$

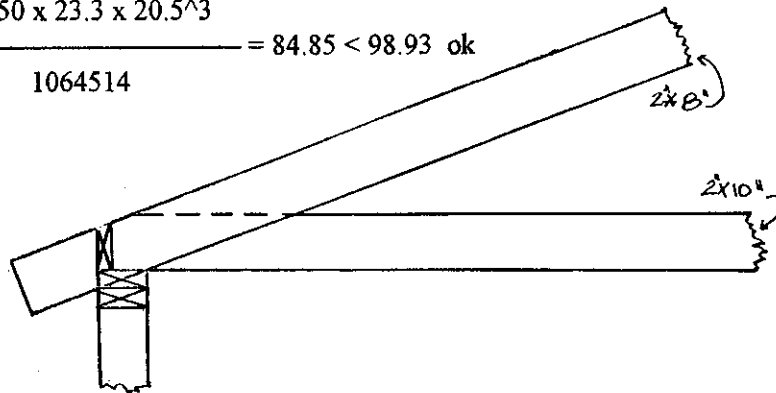


TABLA No. 2.1

**ESFUERZOS BASICOS PARA MADERAS GUATEMALTECAS
APLICABLES A MADERA VERDE O POCO SAZONADA Y MADERA SECA AL AIRE (a) (b) (c)***

Especie	Peso seco aparente gr./cm. 3	Flexión Estática Kg./cm. 2	Módulo de Elasticidad Kg./cm. 2x10 ⁵	Compresión paralela Kg./cm. 2	Compresión perpendicular Kg./cm. 2	Tensión paralela Kg./cm. 2	Tensión perpendicular Kg./cm. 2	Corte paralelo Kg./cm. 2	Clivaje Kg./cm. 2	Dureza Kg.	Extracción de clavos Kg.
Ciprés	0.51	160	0.75								
Pino coloreado (ocarpa)	0.57	200	1.19	90	23			20		85	
Pino Petén (caribeeae)	0.67	215	1.20	90	21			22		100	10
Otros pinos	0.37	115	0.66	55	13			16		40	
Caoba	0.48	160	0.76	70	45	125	7	10	16	265	30
Canoj	0.65	130	1.00	70	20	100	10	10	19	200	
Cedro	0.43	95	0.46	40	35	80	10	7	16	180	19
Cenicero	0.61	130	0.72	65	45	100	10	10	11	350	30
Conacaste	0.42	95	0.56	35	20	90	10	7	9	195	9
Chichique	0.72	245	1.38	120	60	235	7	9	12	450	
Chichipate	0.72	210	1.20	105	55	160	10	15	25	730	53
Marillo	0.62	100	0.85	60	45	145	16	12	20	360	40
Volador	0.65	165	1.05	75	35	155	10	11	24	430	50

* Tomado de referencia No. 8.

Observaciones:

- a) Solo se permite incrementos sobre estos esfuerzos, para madera seca al aire en caso que las piezas sean de 10 cm. de grosor.
- b) En la columna 6 (Tensión paralela): Se sugiere tomar los valores de flexión estática (columna 2).
- c) Para obtener los esfuerzos permisibles de trabajo, deben corregirse los datos de esta tabla (ver tablas 2.2, 2.3 y 2.4).

TABLA No. 2.2

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

Especie	Peso seco aparente gr./cm.3	Flexión Estática Kg./cm.²	Módulo de Elasticidad Kg./cm.²x10⁻⁵	Compresión paralela Kg./cm.²	Compresión perpendicular Kg./cm.²	Tensión paralela Kg./cm.²	Tensión perpendicular Kg./cm.²	Corte paralelo Kg./cm.²	Clivaje Kg./cm.²	Dureza Kg.	Extracción de clavos Kg.
Ciprés	0.51	136	0.75	60	23	136	6.0	6.0	6.8	225	19
Caoba	0.48	136	0.76	60	45	106	6.0	8.5	13.6	265	30
Canoj	0.65	110	1.00	60	20	85	8.5	8.5	16.2	200	
Cedro	0.43	81	0.46	34	35	68	8.5	6.0	13.6	180	19
Cenicero	0.61	110	0.72	55	45	85	8.5	8.5	9.4	350	30
Conacaste	0.42	81	0.56	30	20	77	8.5	6.0	7.7	195	9
Chichique	0.72	206	1.38	102	60	200	6.0	7.7	10.2	450	
Chichipate	0.72	278	1.20	83	55	136	8.5	12.8	21.3	730	55
Marillo	0.62	85	0.85	51	45	124	6.8	10.2	17.0	360	40
Volador	0.63	240	1.05	64	35	132	8.5	9.4	20.4	430	50
Pino Colorado		170	1.19	76	20			17.0		75	
Pino de El Petén		182	1.20	76	17			18.7		85	
Otros pinos		97	0.66	46	11			13.6		34	

* Tomado de referencia No. 8.

TABLA No. 2.3

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

Especie	Peso seco aparente gr./cm. 3	Flexión Estática Kg./cm. 2	Módulo de Elasticidad Kg./cm. 2x10 ⁵	Compresión paralela Kg./cm. 2	Compresión perpendicular Kg./cm. 2	Tensión paralela Kg./cm. 2	Tensión perpendicular Kg./cm. 2	Corte paralelo Kg./cm. 2	Cilivaje Kg./cm. 2	Dureza Kg.	Extracción de clavos Kg.
Ciprés	0.51	112	0.75	49	23	112	5.0	5.0	5.6	223	19
Caoba	0.48	112	0.76	49	45	87.5	4.9	7.0	11.2	265	30
Canoj	0.65	91	1.00	49	20	70	7.0	7.0	13.3	200	
Cedro	0.43	67	0.46	28	35	56	7.0	5.0	11.2	180	19
Cenicero	0.61	91	0.72	45.5	45	70	7.0	7.0	7.7	350	30
Conacaste	0.42	67	0.56	24.5	20	63	7.0	5.0	6.3	195	9
Chichique	0.72	172	1.38	84	60	164	5.0	6.3	8.4	450	
Chichipate	0.72	147	1.20	74	55	112	7.0	10.5	17.5	730	55
Marillo	0.62	70	0.85	42	45	101	5.6	8.4	14.0	360	40
Volador	0.65	115	1.05	52.5	35	108	7.0	7.7	16.8	430	50
Pino Colorado		140	1.19	63	16			14.0		60	
Pino de El Petén		150	1.20	63	14			15.4		70	
Otros pinos		80	0.66	38	9			11.2		28	

* Tomado de referencia No. 8.

TABLA No. 2.4

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

Especie	Peso seco aparente gr./cm. ³	Flexión Estática Kg./cm. ²	Módulo de Elasticidad Kg./cm. ² × 10 ⁻⁵	Compresión paralela Kg./cm. ²	Compresión perpendicular Kg./cm. ²	Tensión paralela Kg./cm. ²	Tensión perpendicular Kg./cm. ²	Corte paralelo Kg./cm. ²	Clivaje Kg./cm. ²	Dureza Kg.	Extracción de clavos Kg.
Ciprés	0.51	80	0.75	35	23	80	3.5	3.5	4.0	225	19
Caoba	0.48	80	0.76	35	45	63	3.5	5.0	8.0	265	30
Canoj	0.65	65	1.00	35	20	50	5	5.0	9.5	200	
Cedro	0.43	48	0.46	20	35	40	5	3.5	8.0	180	19
Cenicero	0.61	65	0.72	33	45	40	5	5.0	5.5	350	30
Conacaste	0.42	48	0.56	18	20	45	5	3.5	4.5	196	9
Chichique	0.72	123	1.38	60	60	118	3.5	4.5	6.0	450	
Chichipate	0.72	105	1.20	53	55	80	5	7.5	12.5	730	55
Marillo	0.62	50	0.85	30	45	73	4	6.0	10.0	360	40
Volador	0.65	83	1.05	38	35	78	5	5.5	12.0	430	50
Pino Colorado	0.57	100	1.19	45	1			10.0		45	
Pino de El Petén	0.67	105	1.20	45	10			11.0		50	
Otros pinos	0.37	58	0.66	27	7			8.0		20	

* Tomado de referencia No. 8.