



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

11
24

LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

PABLO GARCIA GAVITO



ACATLAN, EDO. MEX.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Introducción	1
I.- Clasificación de la Madera	4
II.- Propiedades de la Madera	18
II.1.- Composición, desarrollo y estructura de la madera	18
II.2.- Propiedades físicas	20
II.2.1.- Humedad	21
II.2.2.- Densidad	27
II.2.3.- Dureza	28
II.2.4.- Hinchamiento y contracción	30
II.2.5.- Dilatación térmica	31
II.2.6.- Conductividad térmica	33
II.3.- Propiedades mecánicas	34
II.3.1.- Tensión	35
II.3.2.- Compresión	36
II.3.3.- Flexión	40
II.3.4.- Cortante	42
II.4.- Otros factores que influyen en el com- portamiento y resistencia de la madera ...	43
II.4.1.- Nudos	43
II.4.2.- Influencia del tiempo	44
II.4.2.1.- Duración de la carga	45
II.4.2.2.- Fatiga	45
III.- Conservación y tratamiento de la madera	51
III.1.- Organismos	51
III.1.1.- Prevención y control	54
III.2.- Preservación de la madera	60
III.2.1.- Preservadores y algunas de sus características	60
III.2.2.- Métodos de tratamiento	62
III.2.3.- Tratamiento retardante al fuego	66

III.3.- Secado de la madera	66
III.3.1.- Ventajas principales	67
III.3.2.- Métodos de secado	68
IV.- Uso estructural de la madera	72
IV.1.- Madera laminada encolada	72
IV.1.1.- Esfuerzos permisibles	76
IV.1.2.- Factores que influyen en la resistencia y rigidez	79
IV.1.3.- Tipos y aplicaciones	80
IV.2.- Tableros de madera contrachapada 6 triplay	85
IV.2.1.- Propiedades	89
IV.2.2.- Módulos de elasticidad y esfuerzos permisibles	94
IV.3.- Tableros de fibra	103
IV.4.- Tableros de partículas	104
V.- Miembros estructurales de madera	106
V.1.- Esfuerzos permisibles	109
V.1.1.- Determinación a partir del en- saye de probetas pequeñas "limpias"	110
V.2.- Miembros en tensión	125
V.3.- Miembros en compresión	127
V.4.- Miembros en flexión simple	136
V.4.1.- Fuerza cortante	138
V.4.2.- Deflexión	141
V.5.- Miembros en flexión biaxial	149
V.6.- Flexotensión paralela a las fibras	156
V.7.- Flexocompresión paralela a las fibras	163
VI.- Diseño de una Nave Industrial	170
Conclusiones	243
Bibliografía	244

INTRODUCCIÓN.

La superficie arbolada de México es de aproximadamente 45 millones de hectáreas que corresponden al 22% de la superficie total del país. De éstos 45 millones, el 66% le corresponden a bosques de clima templado-frío de los cuales el 80% aproximadamente está compuesta de coníferas (pino, oyamel, sabino y cedro) y el 20% restante son latifoliadas (encino, fresno y aile).

El 34% de los 45 millones le corresponden a bosques de clima tropical y subtropical de los cuales el 95% aproximadamente está compuesta de árboles de hojas latifoliadas (caoba y cedro rojo).

Cabe señalar que los bosques de clima templado-frío están comprendidos en parte de los Estados de Veracruz, Chihuahua, Durango, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, Guerrero y Chiapas, mientras que Campeche, Chiapas, Veracruz, Quintana Roo, Yucatán y parte de Oaxaca forman parte de la zona de clima tropical y subtropical.

Por especies, la producción forestal maderable es:

- Pino80%
- Encino 4%
- Oyamel 5%
- Caoba 1%
- Otras especies10%

Por lo anterior, podemos decir que México cuenta con recursos forestales importantes.

Por otro lado, se considera que la madera no sólo debe ser empleada como obras falsas, durmientes, postes, etc., sino que también debe explotarse su potencial estructural, sobre todo, en zonas donde su adquisición es económica, ya que como se verá más adelante, presenta características aceptables en cuanto a resistencia y durabilidad. La duración de las estructuras de madera (vida útil) se considera de cincuenta años. En las ruinas Mayas, por ejemplo, se encuentran elementos de madera --

que aún cumplen con su función estructural.

La crisis de energéticos y la progresiva contaminación ambiental pueden reducirse si se emplea a la madera, ya que la transformación de la madera a elemento estructural implica menor consumo de energía necesaria para su proceso, por ejemplo, la energía requerida para procesar la unidad de peso de madera es aproximadamente seis veces menor a la necesaria para la unidad de peso de acero estructural. Resumiendo, para la fabricación del acero, cemento, aluminio, ladrillos y plásticos, entre otros, se requiere de mayor energía con su correspondiente aportación de contaminantes al medio ambiente, cosa que si se utiliza madera éstos conceptos disminuyen considerablemente.

Por un lado se nos presentan recursos forestales importantes y por el otro lado la ventaja de utilizar a la madera en las zonas donde ésta es accesible.

Para conservar los recursos forestales es necesario una planeación eficiente consistente en establecer sistemas apropiados de protección contra incendios, plagas e insectos. La reforestación puede contribuir en aumentar el volumen de madera.

Para utilizar a la madera en las zonas donde ésta es accesible (desde el punto de vista estructural) es necesario enriquecer el caudal de información sobre las propiedades de la misma, esto nos conducirá a una clasificación más actualizada con su consecuente diseño eficiente; consideramos que lo anterior se logra incrementando el número de profesionistas, técnicos y obreros familiarizados con la tecnología de la madera. Con esto desembocamos al punto clave de éste escrito que consiste en exponer los aspectos fundamentales del dimensionamiento de elementos de madera, con el propósito de despertar el interés de los alumnos de las carreras de Ingeniería y Arquitectura con el fin de eliminar la escasez de profesionistas que empleen a la madera en proyectos de utilidad social.

Así, se exponen en el presente trabajo algunas de las especies provenientes de los árboles de coníferas y latifoliadas además de los criterios que se tienen que considerar en la clasificación de la madera para su uso estructural.

Posteriormente, se exponen las principales propiedades físicas, químicas y mecánicas que influyen en el comportamiento estructural de la madera indicando algunos de los factores que influyen en el comportamiento y resistencia de la misma.

Un aspecto muy importante reside en las características de los principales agentes nocivos de la madera, razón por la cual, se describen algunos de los tratamientos a los que se le puede someter para protegerla, así como también de los preservadores que se pueden utilizar en el proceso de tratamiento. Se exponen también algunas consideraciones sobre la influencia de la humedad en la madera mencionando las prácticas usuales de secado.

No obstante que el presente trabajo se ocupa, entre otras cosas, del dimensionamiento de elementos macizos de madera, no se hacen a un lado las otras modalidades que puede tener la madera, por lo que también (aunque en forma somera) se analiza a la madera laminada encolada, los factores que influyen en la resistencia y sus aplicaciones estructurales. De igual forma, se contempla la forma de armar los tableros de madera contrachapada y sus propiedades como elemento estructural. En ambos casos se proporciona el tipo de pegamento por emplear.

En lo que se refiere a madera maciza, se establecen los métodos para un diseño eficiente y los principios fundamentales para su dimensionamiento; para ello es necesario establecer el valor de esfuerzos permisibles de acuerdo al tipo de esfuerzos al que va a estar sometido el elemento. Se muestra también un método para determinar el valor de dichos esfuerzos permisibles.

Para dar una visión más clara de los conceptos tratados a lo largo del trabajo, se presenta la aplicación de los mismos a un ejemplo.

Un concepto importante en el diseño de estructuras de madera son las uniones, cuyo análisis y diseño no se estudia en el presente trabajo. Sin embargo, al final se propone una solución a las uniones del ejemplo, a nivel ilustrativo; las conexiones de elementos estructurales de madera son un tema muy amplio e interesante y se podría tratar como un trabajo de tesis aparte.

CAPITULO 1.- CLASIFICACION DE LA MADERA

La terminología empleada en la clasificación de los árboles es muy confusa, pero desde que su comercialización a llegado a ser de uso general, es importante su comprensión para aquellos que elaboran ó venden productos de madera.

Los términos madera dura de latifoliadas ó frondosas y la madera blanda de coníferas no tienen una aplicación directa a la dureza ó blandura de los materiales -- (Ref.6). La madera de balsa, por ejemplo, es una de las -- maderas más ligeras y blandas usada en el comercio y sin embargo se clasifica como madera dura.

Para fines prácticos, las maderas duras tienen - hojas amplias, mientras que las maderas blandas tienen hojas en forma de cono (fig. 1.1).

Los árboles con hojas amplias pierden la hoja -- alguna vez durante el año, mientras que las coníferas --- mantienen su cobertura de follaje cónico durante todo el - año.

Las características de la estructura y del proceso de crecimiento de los árboles que se contemplan en -- forma esquemática en el siguiente capítulo son aplicables de una manera general a la mayoría de las especies de árboles. Sin embargo, un exámen más detenido revela algunas diferencias entre las especies coníferas y latifoliadas, - entre las más importantes pueden mencionarse las siguientes:

- a) Las células de las latifoliadas son más cortas que las coníferas.
- b) Los anillos de crecimiento se distinguen más fácilmente y son más amplios en las coníferas que en las latifoliadas.



a) Latifoliadas



b) Coníferas

USAM

INEF ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

Arboles de hoja ancha y de
forma cónica.

PABLO GARCIA G.

Fig 1.1

Hay cierta incertidumbre para éste criterio, pero cuando uno se familiariza con las diversas maderas, se puede aprender por experiencia en qué grupo se pueden clasificar las diversas especies.

El mayor mercado para las maderas duras se encuentra en la fabricación de productos manufacturados, tales como herramientas, muebles, cajas de instrumentos, etc.. Para su empleo en la industria de la construcción, se limita a acabados.

Las maderas duras más importantes son:

- a) Akiso
- b) Fresno
- c) Abedul
- d) Alamo americano
- e) Olmo
- f) Nogal americano
- g) Roble rojo
- h) Roble blanco
- i) Alamo amarillo

Las maderas blandas más importantes son:

- a) Cedro (diversas especies)
- b) Ciprés
- c) Abeto de Canadá
- d) Pino canadiense
- e) Pino contorcido
- f) Pino rígido
- g) Pino real
- h) Pino rojo
- i) Pino virginiano

Las maderas blandas se dividen en dos clases generales, atendiendo las características de su empleo final, cada una de las cuales se subdivide (como se verá más adelante) según reglas diferentes:

Clases Generales

- a) Madera de Barraca
- b) Madera Estructural.

La clase general que más interesa para la finalidad del presente trabajo, es la madera estructural, siendo un concepto relativamente moderno (Ref. 6) en el campo de la clasificación de la madera. La madera estructural es un producto industrial cuyo empleo está destinado a los casos en que se especifican exigencias de resistencia definidas.

Las tensiones permisibles, por ejemplo, diseñadas para una pieza estructural, dependen del tamaño, número y ubicación de los defectos.

En general, se consideran las siguientes características:

- a) Pendiente de las fibras
- b) Fisuras ó rajaduras
- c) Nudos
- d) Gomas (son las partes redondeadas de los troncos que a veces aparecen en las aristas de la madera aserrada ó pieza).
- e) Rapidez de crecimiento, medida con el número de anillos por unidad de longitud paralela a un radio.

Existen dos formas de clasificar a la madera estructural: los métodos visuales y los métodos mecánicos. Los métodos visuales hasta la fecha son los más comunes, y en la República Mexicana son contemplados en las Normas Técnicas Complementarias (N.T.C.) del R.C.D.F. y por la Norma DGN C18-1946 de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Las máquinas utilizadas en la clasificación mecánica se basan en el hecho de que existe una correlación directa entre la deformación bajo una carga dada de una pieza que exhibe defectos naturales y la resistencia última de la pieza, es decir, existe una relación directa entre el módulo de elasticidad y la resistencia de la madera

con defectos. Las máquinas que se han ideado permiten efectuar ensayos sobre piezas individuales que consisten en la aplicación de una carga pequeña, registrando la deflexión máxima. El módulo de elasticidad puede determinarse a partir de esta deflexión máxima, y puesto que se conoce la relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia última, puede determinarse la resistencia última de la pieza. Una ventaja de la clasificación mecánica es que puede aplicarse a maderas de cualquier especie ya que la relación entre módulo de elasticidad y módulo de rotura parece ser independiente de la especie (Ref.9). -- En México, dado el tamaño relativamente modesto de la mayoría de los aserraderos, no se justifica la inversión en máquinas clasificadoras, razón por la cual no es posible adoptarla ahora.

La aplicación de las reglas de clasificación visual, implica la inspección visual de todas las piezas por personal capacitado. Cuanto más elaboradas las reglas y mayor el número de calidades, más alto será el costo de clasificación.

Un inconveniente de la clasificación visual está en el hecho de que escapan a la observación visual la influencia de características tales como densidad, que es variable y puede hacer que una pieza que tenga más nudos que otra, tenga mayor resistencia por su densidad.

Sin embargo, por el momento las N.T.C. reconocen los dos métodos de clasificación visual según la Norma DGN C18-1946 y según las Normas de las mismas N.T.C.

La clasificación según la Norma DGN C18-1946 clasifica a la madera en cinco grupos: madera selecta, madera de primera, madera de segunda, madera de tercera y madera de desecho. Cuando se use madera estructural en forma permanente, no se empleará con calidad inferior a la madera de segunda (Ref.1).

Esta clasificación considera nudos, fisuras y bolsas de resina, pero sin tomar en cuenta la influencia

de su posición sobre el comportamiento estructural de la pieza. Por ejemplo, un nudo de 3 cm. en el canto del tercio medio de un elemento a flexión de 4 cm. de ancho hace que la resistencia baje a un valor comprendido entre el 40 y el 50 por ciento de la resistencia que se tendría si no existieran defectos (Ref.1). Por lo tanto, considera esencialmente requisitos de aspecto, y no de resistencia.

REQUISITOS QUE DEBE REUNIR LA MADERA
ESTRUCTURAL SEGUN LA NORMA DGN C18-1946.

MADERA SELECTA

- a) No tener nudos
- b) Color uniforme
- c) No tener rajaduras, bolsas de resina ni partes podridas.
- d) Humedad no mayor del 10% del peso total

MADERA DE PRIMERA

- a) La suma del ancho de los nudos no exceder de 1/4 del ancho de la cara
- b) Longitud de rajaduras inferiores a 84 mm.

MADERA DE SEGUNDA

- a) La suma del ancho de los nudos mayor ó igual de 1/4 del ancho de la cara y menor de 1/2 del ancho de la misma.
- b) La longitud de rajaduras deberán estar dentro del rango $84 \leq L < 168$ siendo L la longitud de rajadura.

MADERA DE TERCERA

- a) Vetas de resina grandes, pero cuya superficie total en una cara no pase de 1/4 de la superficie de la misma cara.
- b) Bolsas de resina de anchura inferior a 10 mm. y longitud inferior a 300 mm.

- c) Cambios de color que afecten superficies inferiores a la cuarta parte de la superficie de la cara correspondiente.
- d) Partes podridas en superficies interiores a un sexto del ancho y un sexto de la longitud siempre que se encuentren en los extremos.
- e) Rajaduras inferiores a 252 mm. de largo.
- f) Se admiten nudos siempre que la suma de sus anchos no exceda del ancho de la cara.

Se mencionó líneas arriba que ésta forma de clasificar a la madera no toma en cuenta la localización del defecto con relación al trabajo estructural de la pieza. Debido a ésta deficiencia, se incluyó un procedimiento optativo que considera los defectos y sus características en forma más completa permitiendo así una mejor clasificación de la madera para fines estructurales. Dicha norma es la clasificación visual según las N.T.C. que, en términos generales, se desarrolló con base en las ideas siguientes:

Experimentalmente se determina el efecto que sobre la resistencia de la madera tiene un cierto defecto de ciertas características. Después se forman grupos de defectos que afectan en la misma medida la resistencia y a cada grupo se asocia una calidad de madera que se expresa en términos del porcentaje de reducción de resistencia. El efecto de varios defectos no es acumulativo. En las N.T.C. se incluyen cuatro calidades: V-75, V-65, V-50 y V-40. La calidad V-40 significa que la resistencia de esa madera está entre el 40 y el 49 por ciento de la resistencia que tendría si careciera de defectos y así sucesivamente. Los requisitos que debe reunir cada una de las cuatro calidades establecidas se resumen en las tablas 1.1 y 1.2 y en las figuras 1.2 y 1.3.

Con relación a la tabla 1.1, deben de hacerse las siguientes consideraciones:

- a) Para otras medidas pueden hacerse interpolaciones lineales.
- b) La calidad V-100 correspondería a madera sin defectos.
- c) No se permitirá la presencia de dos ó más nu-

dos de dimensión máxima en un mismo tramo de 30 cm, además, la suma de las dimensiones de todos los nudos para dicho tramo no excederá al doble de la dimensión del nudo máximo.

- d) Para elementos simplemente apoyados sujetos a flexión, las dimensiones máximas para los nudos en las zonas de canto y de borde fuera del tercio medio podrán incrementarse hasta un 100% en los extremos (Ref.1).

EJEMPLO 1.1

Clasificar estructuralmente la madera en forma visual de la fig.1.4 suponiendo que el elemento trabajará a flexión y estará libremente apoyado. Las caras del elemento que se muestran son las más desfavorables.

Las características de ésta madera son las siguientes (véase fig. 1.4):

NUDOS

Localización	Dimensión máxima
canto	2,5*
zona central	4,0
zonas de borde	2,0

* La dimensión máxima del nudo se podría incrementar siempre y cuando estuviera fuera del tercio medio (consideración 4 a la tabla 1.1) ya que se trata de un elemento sujeto a flexión y está simplemente apoyado.

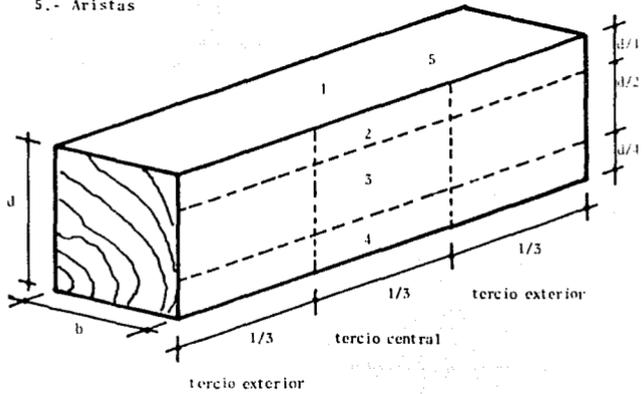
La calidad estructural a cada característica será:

Localización	Calidad
canto	V-65
zona central	V-75
zonas de borde	V-75

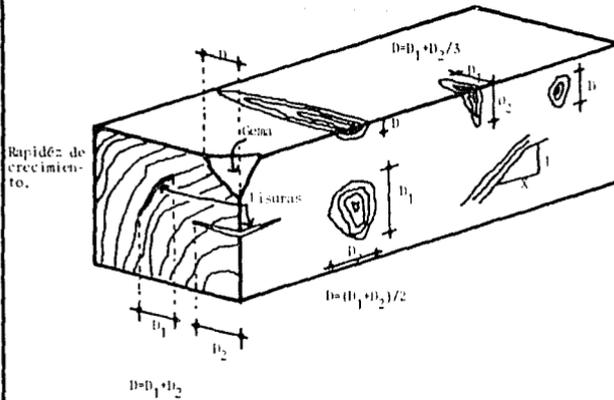
INCLINACION DE LAS FIBRAS

La inclinación según la figura es de 1:10 y según tabla 1.4 nos vamos a la condición más desfavorable resultando una calidad V-50.

- 1.- Canto
- 2.- Zona de borde
- 3.- Zona central
- 4.- Zona de borde
- 5.- Aristas



UNAM	EXEP ACATELÁN
TESIS PROFESIONAL	
Zonas en un elemento a flexión para su clasificación estructural.	
PABLO GARCÍA G.	Fig. 1.2



UNAM

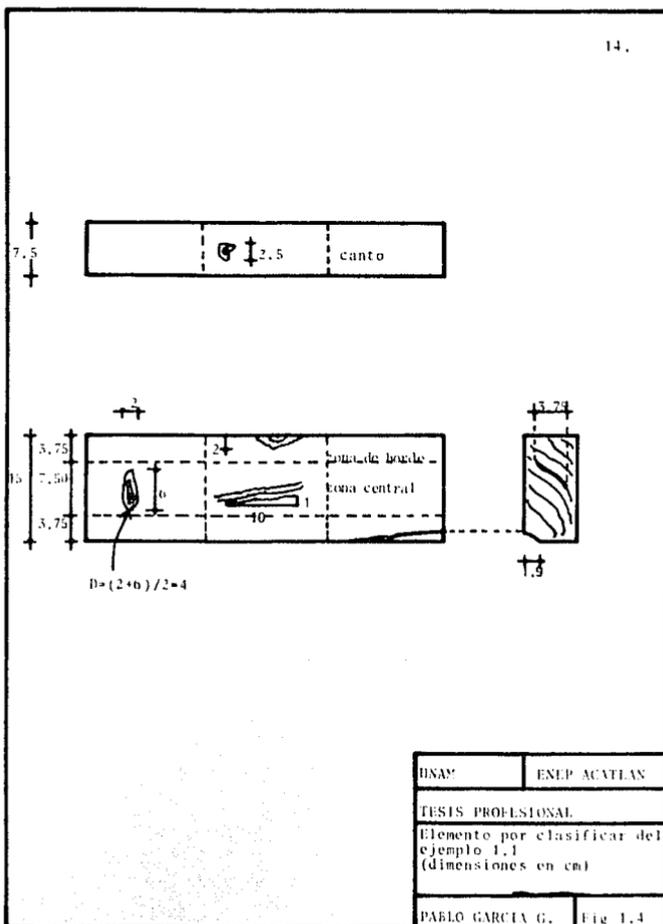
ESEP AGATLAN

TESIS PROFESIONAL

Medición de nudos, inclinación de fibra, gera, velocidad de crecimiento y fisuras.

PABLO GARCIA C.

Fig. 1.5



GEMAS

Se obtiene a partir del espesor del elemento, así:

$$(1.9/7.5) \approx (1/4)$$

La calidad por éste concepto es de V-50

FISURAS

Suponiendo a 3.75 como máxima, y en base al espe--

sor

$$(3.75/7.5) = (1/2)$$

según tabla 1.2, la calidad es de V-50

VELOCIDAD DE CRECIMIENTO

Suponiendo que en la sección del elemento se observen 10 anillos/5 cm., se tendrá una calidad V-50.

Seleccionando la menor de las calidades, nos resulta que la pieza está constituida por una madera clasificada como V-50.

Dimensión nominal de la cara considerada	Nudos en el canto y en la zona central para elementos en flexión y en cualquier cara para elementos en compresión				Nudos en la zona de borde para cualquier cara para elementos en tensión			
	V-40	V-50	V-65	V-75	V-40	V-50	V-65	V-75
cm.								
2.5	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	---	---
3.8	3.0	2.5	2.0	1.0	1.5	1.0	0.5	---
5.0	3.5	3.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0	0.5
6.5	4.5	4.0	2.5	2.0	2.5	2.0	1.5	1.0
7.5	5.0	4.5	3.0	2.0	3.0	2.5	1.5	1.0
9.0	5.5	5.0	3.5	2.5	3.5	2.5	2.0	---
10.0	6.5	6.0	4.0	3.0	3.5	3.0	2.0	1.5
13.0	7.5	7.0	5.0	3.5	4.5	4.0	2.5	2.0
15.0	9.0	8.0	6.0	4.0	5.5	5.0	3.0	2.5
20.0	11.0	9.0	6.5	4.5	7.5	6.5	4.0	3.0
25.5	13.0	10.0	7.0	5.0	9.5	8.0	5.0	3.5
30.5	14.0	11.0	7.5	5.5	11.0	9.0	6.5	4.5
35.5	15.0	12.0	8.0	6.0	12.5	10.0	7.0	4.5

TABLA 1.1 Dimensiones máximas de los nudos presentes en un elemento estructural (Ref. 1).

Tipo de defecto	Calidad V-75	Calidad V-65	Calidad V-50	Calidad V-40
Velocidad de crecimiento	16 anillos/5cm	12 anillos/5cm	8 anillos/5cm	7 anillos/5cm
Fisuras ó grietas y bolsas de resina	1/4 *	1/3 *	1/2 *	3/5 *
Desviación de la fibra (no mayor de)	1:14	1:11	1:8	1:6
Goma en cada cara (no mayor de)	1/8 *	1/8 *	1/4 *	1/4 *

TABLA 1.2 Limitaciones a los defectos para calidades V-75, V-65, V-50 y V-40

* de la cara considerada

CAPITULO II.- PROPIEDADES DE LA MADERA

II.1.- Composición, desarrollo y estructura de la madera.

El comportamiento de la madera ante diversas sollicitaciones desde el punto de vista estructural, está en función de su composición y estructura, las cuales se relacionan con el desarrollo y crecimiento de los árboles. Por lo tanto, es conveniente mencionar los aspectos principales de la composición y estructura de la madera.

Se considera a la madera como una sustancia viva formada por células de forma tubular y de sección transversal más o menos rectangular (fig. 2.1). Ahora bien, la longitud máxima que pueden tener estas células es de 5 mm, mientras que el espesor de sus paredes no rebasan las 5 micras. Dichas paredes están formadas por dos elementos que definen las características mecánicas de la madera, éstos elementos son:

- a) Celulosa: Es un polímero lineal cuyas moléculas forman cadena. El 60 ó 70% de la madera se constituye de esta sustancia. Forma el esqueleto ó estructura de las paredes de las células. El algodón es la forma natural más pura, contiene 95% de celulosa aproximadamente; el rayón es celulosa regenerada. La celulosa es prácticamente in soluble pero dispersable en agua, parcialmente soluble en álcalis diluidas; es también la forma fibrosa de la materia básica para las industrias textil y del papel. Tratada con nitratos nos lleva al campo de la nitro celulosa, usada para la manufactura de ex-

plosivos y lacas.

También se usa en la industria alimenticia como estabilizador, endurecedor y texturizador (Ref. 13).

- b) Lignina: Constituye el tejido vascular de las plantas, razón por la cual, es el polímero natural orgánico aromático más abundante en la naturaleza.

La lignina está compuesta por la combinación del coniferil, el p-conmaril y el sinapil en diferentes proporciones según la especie de las plantas.

Se utiliza como amplificador para plásticos fenólicos; endurecedor de hule, especialmente para suela de zapatos; para estabilizar las emulsiones de asfalto y para precipitar proteínas (Ref. 13). Del 15 al 35% de la madera está constituido por esta sustancia.

Además de la celulosa y lignina, la madera está formada por residuos en forma de minerales, ceras y aceites.

En el ciprés, los aceites son responsables de su nombre como madera resistente al deterioro. Muchos de los residuos químicos de la madera pueden ser separados con disolventes neutros, tales como el agua, alcohol, acetona, benceno y éter.

Observando una sección transversal del tronco de un árbol, pueden identificarse las siguientes partes (Fig. 2.2):

- a) Corteza exterior: Sirve de capa protectora
- b) Corteza interior ó líber: Zona por donde circula la savia descendente que alimenta el proceso de crecimiento, tiene su origen en el cambium.
- c) Cambium: Capa microscópica inmediatamente interior al líber, donde se forman las células nuevas de madera y corteza.
- d) Albura: Parte activa del tronco por donde circula la savia ascendente desde la raíz.

hasta las hojas.

- e) Duramen: Parte inactiva del tronco que proporciona soporte estructural al árbol.
- f) Médula: Parte más antigua del tronco, donde se originan las ramas.
- g) Rayos: Llamados también células radiales, unen las diversas partes del árbol para el movimiento de las sustancias alimenticias.

En cuanto al proceso de crecimiento de los árboles y en base a la fig. 2.2 podemos decir que dicho crecimiento implica el nacimiento y desarrollo de nuevas células. Como se menciona líneas arriba, es por la zona de la corteza interior donde circula la savia descendente, ésta a su vez alimenta a las células del cambium, zona donde se da el proceso de crecimiento.

La sección transversal del tronco de un árbol muestra los anillos de madera nueva que se forman anualmente. Estos anillos, que se llaman anillos anuales, con frecuencia están formados por capas de color claro y otras de color oscuro, el anillo de color claro corresponde al leño que se desarrolla en la primavera de cada año y el de color oscuro es el del verano. Así, el número de anillos anuales en la base de un árbol indica su edad. La banda de anillos anuales en el borde exterior del tronco se conoce con el nombre de albura. Esta banda, a menudo, tiene un color claro y contiene células vivas. Conforme el árbol envejece, la albura cambia gradualmente a duramen, formándose una albura nueva. La madera de duramen es generalmente más oscura que la albura, está compuesta por células inactivas y constituye la porción mayor del tronco del árbol.

Una forma más simple de comprender el proceso crecimiento de un árbol se da en la fig. 2.3.

11.2.- Propiedades Físicas.

Las propiedades físicas que influyen en el comporta-

miento de la madera son: humedad, densidad, dureza, hinchamiento y contracción, dilatación térmica y conductividad térmica.

11.2.1.- Humedad.

Según se presente la situación, la madera tiene la capacidad de absorber ó perder agua, si el medio que rodea a la madera es húmedo y ésta es una muestra seca, entonces se presenta una absorción; de igual modo pero con variación en las condiciones externas e internas, la muestra perderá agua.

Este comportamiento se asemeja a lo que se conoce como equilibrio térmico, donde la muestra de mayor temperatura siempre cederá calorías a la de menor temperatura, tendiendo el sistema a entrar en equilibrio.

Dado que la madera, como se indicó líneas arriba, tiene la capacidad de absorber ó perder agua, se presentan variaciones en el contenido de humedad. Esta variación provoca los siguientes cambios:

- Las propiedades mecánicas varían significativamente con el contenido de humedad.
- Variaciones del contenido de humedad producen cambios volumétricos que pueden ocasionar problemas en algunas aplicaciones estructurales de la madera.

Además de lo anterior, podemos añadir que la humedad afecta la durabilidad de la madera ya que si el contenido es alto y variable ocasiona que la madera se convierta más susceptible al ataque de hongos que producen podredumbre.

Se describe a continuación una forma de evaluar del contenido de humedad en un trozo de madera:

Tomamos la muestra y la pesamos (peso inicial); una vez pesada la colocamos en una estufa durante un periodo de tiempo (aprox. 10 min) y la sacamos para obtener nuevamente su peso. Se repite el proceso y se compara el último peso obtenido con el que resultó en el caso anterior; se repetirá el pro-

ceso hasta que la diferencia en las medidas sea despreciable. En este momento consideramos que el agua contenida en la muestra se eliminó completamente. Al peso de la última medición del proceso se le llama comúnmente peso anhidro. Cabe señalar que la temperatura de secado oscila entre los 90 y 100°C. Una vez obtenido el peso del agua (peso inicial-peso anhidro) se procede a dividirlo entre el peso anhidro, obteniendo así el contenido de humedad en por ciento.

Expresado lo anterior en forma matemática se tiene:

$$CH = (P_i - P_a) / P_a \dots\dots\dots 2.1$$

donde

CH=contenido de humedad (%).

P_i=peso inicial

P_a=peso anhidro

El método anterior es el más sencillo, aunque el tiempo que se lleva es tardado.

Llamemos agua libre a la humedad contenida en los espacios intercelulares y llamemos también agua fija aquella humedad contenida en las paredes de las células. Ahora bien, el contenido de humedad correspondiente a una condición en la que no existe humedad en los espacios intercelulares pero que las paredes de las células se encuentran saturadas, recibe el nombre de punto de saturación de la fibra (PSF). Toda madera cuyo contenido de humedad es superior ó igual al PSF se denomina "verde", normalmente es del orden del 30%.

El punto de saturación de la fibra es importante, -- porque la madera empieza a encogerse por debajo del 30% del CH ya que está removiendo el agua de las paredes celulares (agua fija) y éstas se hacen más pequeñas (fig. 2.4). Es necesario -- señalar que muchas de las características de la madera cambian cuando el contenido de humedad es inferior al PSF. Así se observa que la resistencia y el módulo de elasticidad aumentan -- mientras el volumen de la pieza disminuye. Cuando el contenido de humedad es superior al PSF la resistencia y el volumen -- permanecen constantes, es decir,

si $CH \geq PSF \Rightarrow$ la resistencia y vol. son constantes

si $CH < PSF \Rightarrow$ la resist. y mód. de elast. crecen



Paredes celulares

UNAM	ENEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Composición y estructura de la madera	
PABLO GARCÍA G.	Fig. 2.1

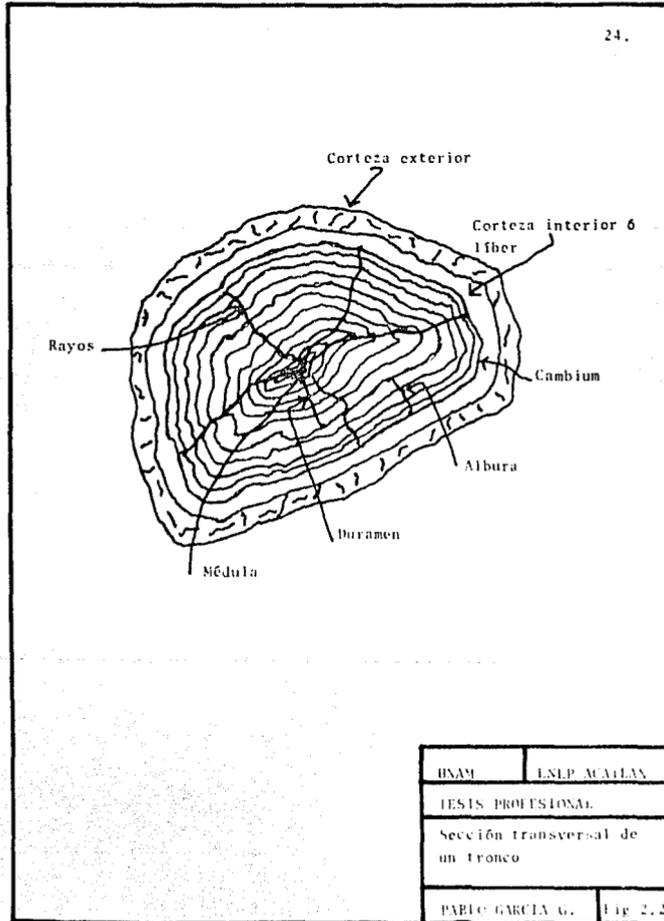


Espacios intercelulares



Paredes celulares

USAM	FNEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Composición y estructura de la madera	
PABLO GARCIA G.	Fig. 2.1



Las raíces capilares absorben agua y sustancias minerales que suben por la albura como savia ascendente.

Flujo de la savia ascendente por la albura.

En el follaje, el agua y las sustancias químicas de la savia ascendente son convertidos en productos alimenticios que bajan por la corteza interior como savia descendente.

Con el alimento que baja como savia descendente por la corteza interior se forman en el cambium nuevos tejidos de madera.

UNAM

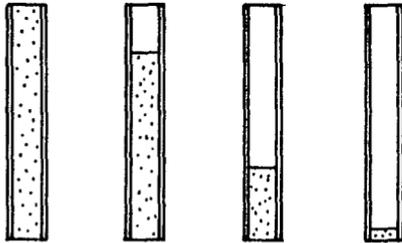
ENLP ACATLÁN

TESIS PROFESIONAL

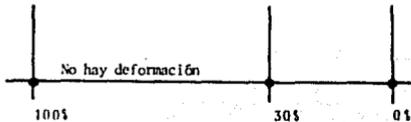
Proceso de crecimiento de un árbol.

PABLO GARCÍA G.

Fig 2.3



Una célula de madera libera el agua libre de la cavidad interior dejando al último el agua fija - de las paredes celulares que producen la deformación.



EXAM	EXLP. ACATLA.
TESIS PROFESIONAL	
Corte longitudinal de la célula de un árbol.	
PABLO GARCIA G.	Fig 2.4

El contenido de humedad por debajo del PSF es función de la temperatura y humedad relativa.

La madera tiene la capacidad de absorber ó perder agua, según sean las condiciones ambientales. Una madera seca en un medio cuya humedad relativa sea del 100% por ejemplo, tiende a absorber agua haciendo variar su contenido de humedad; pero cuando la humedad relativa y temperatura permanecen constantes, el contenido de humedad tiende a estabilizarse -- hasta alcanzar lo que se llama contenido de humedad en equilibrio (CHE).

Para fines estructurales, es recomendable utilizar maderas cuyo contenido de humedad se acerque lo más posible al CHE.

Se presentan cambios dimensionales indeseables cuando se utilizan maderas "verdes" ó con contenidos de humedad mucho muy diferentes al CHE, por lo que deben de evitarse al igual que con maderas excesivamente secas ya que si se trabaja con éstas últimas se presentan incrementos de volúmen al ser expuestas a un ambiente húmedo.

11.2.2.- Densidad.

Generalmente para identificar las características de un material se hace referencia al concepto de densidad, es decir, peso por unidad de volúmen. Se obtiene simplemente determinando el peso del material y dividiéndolo entre su volúmen.

También es muy común utilizar el término "peso específico", que se obtiene dividiendo la densidad del material entre una densidad estándar, normalmente la del agua.

Es importante hacer notar que para cualquier especie de madera, los valores de la densidad pueden variar considerablemente según las condiciones ambientales en que se hagan las mediciones de peso y volúmen.

Partiendo de que la madera está integrada por tres componentes, material leñoso, humedad y huecos (huecos celu-

lares), se puede aplicar una fuerza de compresión, observándose que la pieza de madera en estudio disminuirá su volúmen conservando prácticamente su peso, así, de ésta manera se presenta una variación en la densidad. Sin embargo, lo que interesa es la densidad de la madera en sus condiciones reales, sin comprimir.

Es interesante señalar que para una misma especie, es diferente el contenido de humedad y por lo tanto, su densidad varía, concluyéndose para fines comparativos la necesidad de definir el contenido de humedad de la muestra al determinar su peso así como el volúmen al que se refiere éste peso.

El tomar como densidad y peso específico, el calculado a partir del peso anhidro y volúmen verde es práctica -- frecuente por la facilidad en la determinación de éstos factores. El peso anhidro se obtiene secando las muestras de madera en una estufa hasta que se ha eliminado toda la humedad, lo que sucede cuando el peso de la muestra deja de disminuir. Toda muestra de madera se considera verde cuando el contenido de humedad es mayor ó igual al PSF.

Para aplicaciones ingenieriles a veces se combinan el peso anhidro con el volúmen correspondiente al contenido de humedad en condiciones de uso, que suele tomarse de 12 a 15%.

Para efectos de análisis de cargas permanentes, el Reglamento de Construcciones para el D.F. (ref. 10), da densidades para algunas maderas usuales, distinguiendo entre condición seca y saturada (tabla 2.1).

11.2.3.- Dureza.

La dureza es un índice de la resistencia de la madera al desgaste y se mide generalmente por medio de la prueba Janka que consiste en medir la fuerza necesaria para hacer penetrar en la madera una esfera de acero de 1.127 cm. de diámetro hasta una profundidad de 0.282 cm.

Es interesante señalar que existe una correlación -- aceptable entre la dureza Janka sobre superficies laterales y

NOMBRE	CONDICION	DENSIDAD (KG / M3)	
		MAXIMA	MINIMA
Caoba	seca	650	550
	saturada	1000	700
Cedro	seco	550	400
	saturado	700	500
Oyamel	seco	400	300
	saturado	400	300
Encino	seco	900	800
	saturado	1000	800
Pino	seco	650	450
	saturado	1000	800

TABLA 2.1 Densidades de algunas maderas
según la ref. 10.

la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras. Si se aplica el coeficiente de correlación adecuado, se puede estimar la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras a partir de la prueba Janka, sin necesidad de emplear la prueba de resistencia a la compresión perpendicular.

Las maderas mexicanas, para contenidos de humedad cercanos al 12%, tienen durezas en las superficies laterales que varían de 100 a 550 kg; la dureza en las superficies transversales varía de 150 a 1550 kg; para otros contenidos de humedad el valor de la dureza es diferente.

11.2.4.- Hinchamiento y contracción.

Cuando el contenido de humedad es superior al punto de saturación de la fibra (CH>PSF) la madera es dimensionalmente estable, sin embargo, cuando existen cambios en su contenido de humedad por debajo del PSF, existen cambios en cuanto a la cantidad de agua fija contenida en las paredes celulares originando así un aumento ó disminución en las dimensiones de éstas, lo que hace que la madera tienda a hincharse ó a contraerse. Este cambio dimensional (C.D.) se expresa en forma de porcentaje de la siguiente manera:

$$C.D.(\%) = ((A-B)/A)(100) \dots\dots\dots 2.2$$

donde

A= dimensión de magnitud mayor, cuando el contenido de humedad de la pieza es superior al PSF.

B= dimensión de magnitud menor, cuando el contenido de humedad de la pieza es inferior al PSF.

La madera puede idealizarse como un material ortotrópico en el que observan tres direcciones: longitudinal, radial y tangencial (fig. 2.5).

Los cambios dimensionales en las direcciones longitudinal, radial y tangencial son del orden del 1%, 2.5 a 11%

y 17% respectivamente.

La madera en la mayoría de los casos, encoge siguiendo la dirección de los anillos anulares de crecimiento (tangencialmente), por lo que prácticamente no hay encogimiento ó con tracción a lo largo de la pieza. Si se agrega humedad a la madera, se ensanchará de igual forma y proporción en que ocurrió la contracción.

Por lo tanto, en base a lo anterior, al dimensionar elementos de madera es necesario tener en cuenta el contenido de humedad para el cual se definen las dimensiones normales de las piezas.

11.2.5.- Dilatación térmica.

La madera puede sufrir cambio de sus dimensiones (longitudinal, tangencial y radial) por efectos de variaciones en cuanto a su contenido de humedad. Sin embargo, existe otro factor que puede originar situaciones similares, dicho factor es la variación en la temperatura, y es el coeficiente de dilatación térmica una medida del cambio de dimensión.

En una madera totalmente seca la dilatación en dirección longitudinal es independiente tanto de la especie como del peso específico. Para las maderas de pinos mexicanos es del orden de $3.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Las dilataciones en la dirección radial y tangencial son mayores siendo las tangenciales mayores que las radiales. Para maderas de pinos mexicanos el coeficiente de dilatación térmica para deformaciones transversales (radial y tangencial), aplicable es de $64 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Matemáticamente, la deformación total de un elemento de madera seca puede calcularse utilizando la siguiente expresión:

$$\Delta L = (L) (\Delta T) (\alpha) \dots \dots \dots 2.3$$

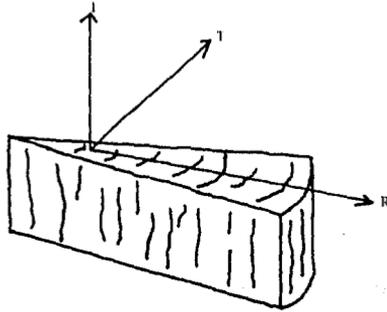
donde

ΔL = cambio dimensional lineal (cm.)

L = dimensión lineal inicial (cm.)

ΔT = cambio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

α = coeficiente de dilatación ($1/^{\circ}\text{C}$)



T- Eje tangencial, perpendicular al eje longitudinal y tangente a los anillos de crecimiento

R- Eje radial, perpendicular a los ejes tangencial y longitudinal.

L- Eje longitudinal, paralelo al eje del árbol.

UNAM	ESEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Líes estructurales de la madera.	
PABLO GARCIA G.	Fig 2.5

Como se trató en el punto 11.2.4, cuando la madera está húmeda, su comportamiento ante los cambios de humedad es diferente del que exhibe cuando está seca. Al ser calentada, la madera húmeda sufre una dilatación por el efecto de dilatación térmica, al mismo tiempo que tiende a contraerse por la pérdida de humedad al secarse las paredes de las células.

Para los contenidos de humedad usuales en la práctica los cambios de dimensiones causados por variaciones de humedad son de mayor magnitud que los térmicos y por lo tanto no suelen tomarse en cuenta en el diseño de estructuras de madera.

11.2.6.- Conductividad térmica.

La conductividad térmica es una medida de la rapidez con que fluye el calor a través de un material sometido a un gradiente de temperatura. Se evalúa por medio del coeficiente térmico (λ), que se define como la energía térmica "Q", en calorías, que fluye en un tiempo unitario "t" en horas, a través de una muestra de material de espesor "s" en metros, en dos caras de superficie "A" en metros cuadrados, sujetas a una diferencia de temperaturas constante entre caras, igual a $(T_2 - T_1)$, en °C. Así

$$\lambda = \frac{(Q)(s)}{(A)(t)(T_2 - T_1)} \dots\dots\dots 2.4$$

La ecuación 2.4 queda entonces en kcal/(m)(h)(°C).

Para la madera de pino del país con un contenido de humedad de aproximadamente 12%, se pueden considerar los siguientes coeficientes de conductividad térmica:

- en dirección long.=0.3 kcal/(m)(h)(°C)
- en dirección trans.=0.1 kcal/(m)(h)(°C).

La conductividad del acero es en promedio 400 veces mayor que la de la madera y la del concreto 10 veces mayor, por ello la madera es muy apreciada como material aislante del calor. Es por ello, que en lugares donde es abundante la producción de madera, ésta es más recomendable como material de construcción que los materiales más comunes (acero y concreto).

Los factores más importantes que influyen en la conductividad térmica son el contenido de humedad, estructura celular y el peso específico. La conductividad aumenta con el contenido de humedad puesto que el agua que ocupa los huecos intercelulares es mejor conductor que el aire. Debido a las características particulares de su estructura celular, la conductividad de la madera varía según la dirección considerada. En la dirección radial es sólo ligeramente mayor que en la tangencial, mientras que en la dirección longitudinal es del orden de tres veces mayor que en las direcciones transversales. Se explica esto porque en la dirección longitudinal el calor puede fluir en forma continua a lo largo de las paredes de las células, mientras que en las direcciones transversales el aire en los huecos intercelulares, por su baja conductividad, actúa como una especie de barrera. Las maderas ligeras tienen menor conductividad que las densas. Esto se explica por la mayor porosidad de las maderas de baja densidad, ya que la conductividad del aire incluido en los huecos intercelulares es aún menor que la del material leñoso (ref. 2).

II.3.- Propiedades Mecánicas.

En la masa de madera se distinguen tres direcciones, perpendiculares entre sí, por lo tanto, será necesario considerar tres juegos de propiedades mecánicas, uno por cada eje. Sin embargo, para efectos prácticos de diseño de estructuras de madera por lo general basta distinguir entre propiedades paralelas a las fibras y propiedades perpendiculares a éstas.

Cualquiera que sea el tipo de esfuerzo, la forma de la gráfica esfuerzo-deformación correspondiente es semejante a la que se muestra en la fig. 2.6

La primera parte de la gráfica es prácticamente recta, de manera que puede suponerse proporcionalidad lineal entre esfuerzos y deformaciones, como en un material elástico lineal. A partir del límite de proporcionalidad, que suele corresponder a un esfuerzo relativamente alto, las relaciones esfuerzo-defor

mación dejan de ser lineales.

En los subcapítulos siguientes se comentan el comportamiento y características resistentes de la madera ante diversas acciones mecánicas.

II.3.1. - Tensión.

La máxima resistencia a la tensión se presenta en la dirección paralela a las fibras, es decir, en la dirección en que están orientadas las cadenas de moléculas de celulosa. Suele ser superior que la resistencia a las demás acciones mecánicas. En la figura 2.7 se muestra una gráfica esfuerzo-deformación típica. Se puede observar que la deformación se incrementa en proporción directa a la carga hasta en un punto donde ésta es máxima: cabe señalar que dicha proporcionalidad no está bien definida.

En cuanto al comportamiento de la madera sometida a tensión paralela a las fibras existe poca información, lo anterior se debe a que no ha sido posible idear un tipo de ensayo sencillo que de resultados confiables.

Una forma de medir la resistencia a este tipo de acción, muy conservadora por cierto, es el esfuerzo al fallar en la fibra extrema de probetas sometidas a flexión, es decir, módulo de rotura. Los valores obtenidos en pruebas de flexión son menores a los obtenidos en pruebas de tensión axial, razón por la cual, los resultados son un tanto cuanto conservadores, esto es conveniente dado que la resistencia a tensión de la madera es muy sensible a los defectos y a las irregularidades en la orientación de las fibras.

Las resistencias a tensión paralela a las fibras varían desde unos 350 KG/CM² hasta unos 3000 KG/CM²; la de pinos mexicanos es del orden de 800 KG/CM².

La resistencia a tensión perpendicular a las fibras es de interés en algunas conexiones a base de pernos. Es aproximadamente cuarenta veces menor que la resistencia paralela a las fibras. Esta diferencia respecto al comportamiento bajo tensión paralela a las fibras se debe a la naturaleza tubular de

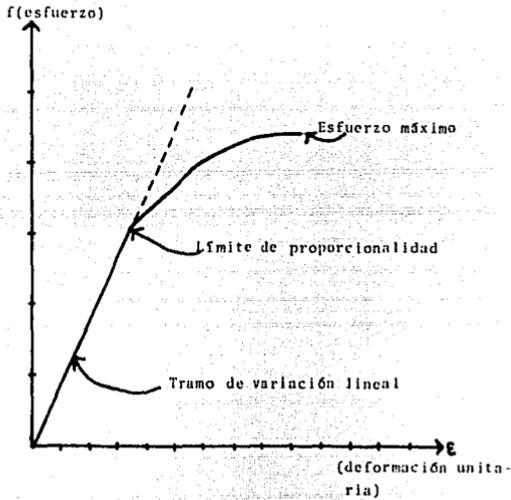
las células, que las hace muy deformables en la dirección transversal, y a la facilidad con que se despegan las cadenas de moléculas cuando se someten a esfuerzos transversales.

II.3.2.- *Compresión.*

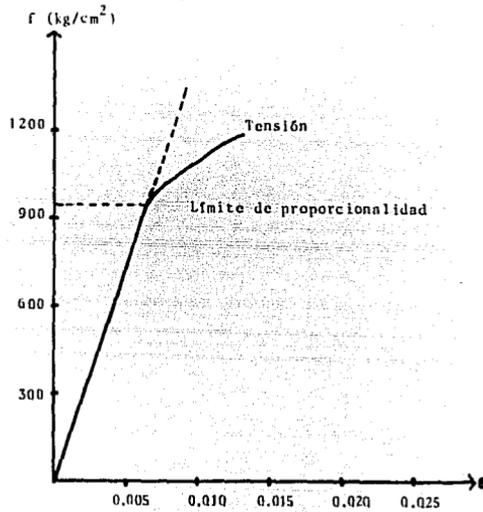
La resistencia a la compresión de la madera en dirección paralela a las fibras varía aproximadamente de la mitad a la tercera parte de su resistencia a tensión en la misma dirección, lo anterior puede explicarse por la influencia de fenómenos de pandeo en las fibras individuales de la madera, cuyo comportamiento puede compararse con el de una columna. En la figura 2.8 se muestra una curva esfuerzo-deformación típica de la madera sometida a compresión longitudinal, cuyo comportamiento en compresión es fundamentalmente elástico, y que el módulo de elasticidad en compresión es similar al módulo de elasticidad en tensión, sin embargo, para efectos prácticos suele suponerse que ambos módulos son iguales. Además, el límite de proporcionalidad para compresión está más claramente definido que para tensión.

Las resistencias a compresión paralela a las fibras para un contenido de humedad de 10% varían de 100 a 1600 KG/CM². Las especies de pino del país tienen valores del orden de 450-KG/CM² para un contenido de humedad de 12%.

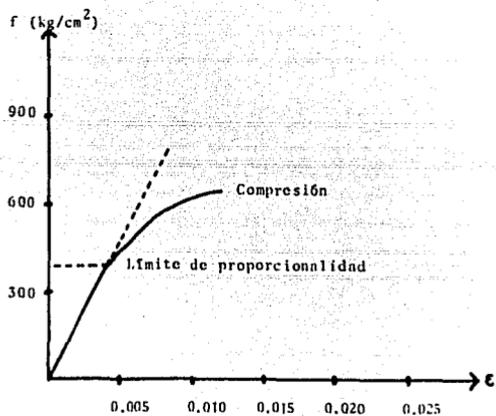
La resistencia a la compresión perpendicular a las fibras está íntimamente ligada a la dureza y a la resistencia al corte perpendicular a las fibras. Sin embargo, para poder desarrollar la resistencia máxima es necesario aplastar las células hasta que desaparezcan los huecos. Las deformaciones altas que esto implica impiden el aprovechamiento estructural de la resistencia teóricamente disponible. Por este motivo, para efectos prácticos suele tomarse como resistencia aprovechable el esfuerzo correspondiente al límite de proporcionalidad. Sin embargo, cuando se carece de datos sobre esfuerzos en el límite de proporcionalidad suele tomarse un valor igual al 20% de la resistencia a compresión paralela a las fibras.



UNAM	ENEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Diagrama esf-def. típico de la madera	
PABLO GARCÍA G.	Fig 2.0



UNAM	INEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Curva esf-def. en tensión	
PABLO GARCIA G.	Fig 2.7



UNAM

ENEP ACATLÁN

TESIS PROFESIONAL

Curva esf-def. en compresión.

PABLO GARCÍA G.

Fig 2.8

Entre las maderas mexicanas pueden encontrarse especies con valores de esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras, al límite de proporcionalidad, de 22 a 225 KG/CM² a un contenido de humedad próximo al 12%. Las maderas de pino tienen valores del orden de 60 KG/CM². Por lo expuesto anteriormente, se puede decir que la madera trabaja mejor a tensión que a compresión.

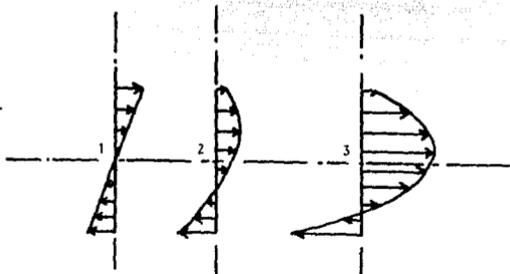
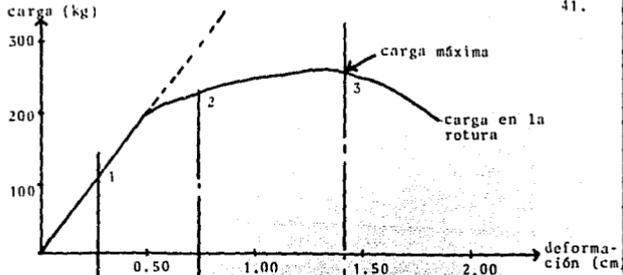
11.3.3.- Flexión.

Como se aprecia en la figura 2.9 correspondiente a una gráfica carga-deformación y distribución de esfuerzos, el límite de proporcionalidad está bien definido. Después de que la carga alcanza su valor máximo, la muestra sigue deformándose a medida que la carga va disminuyendo.

Para valores de la carga transversal inferiores a la correspondiente al límite de proporcionalidad, la distribución de esfuerzos, si la sección de la muestra ensayada es simétrica, es lineal, por lo tanto, el eje neutro se encuentra a la mitad del peralte (véase fig. 2.9-1). Por lo anterior, se puede decir, que para niveles bajos de carga, la madera se comporta en flexión como material elástico. Sin embargo, si la carga va incrementándose tendiendo a su valor máximo, la distribución de esfuerzos deja de ser lineal y la profundidad del eje neutro aumenta.

Dado que existen diferencias en las relaciones esfuerzo-deformación de la madera sometida a compresión ó a tensión, se presenta el comportamiento descrito anteriormente. Las fallas por flexión se inician con el aplastamiento de las fibras extremas sometidas a compresión, a la que sigue la rotura de las fibras en tensión.

El módulo de rotura (como se mencionó líneas arriba), es la medida más usual de la resistencia a tensión de la madera. Se obtiene sustituyendo en la fórmula de flexión, (ecuación 2.4) el momento que produjo la rotura. Dependiendo de



UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Comportamiento de la madera bajo flexión.	
PABLO GARCIA G.	Fig 2.9

$$f = M c / I \dots\dots\dots 2.4$$

la densidad de la especie de madera de que se trata, los valores del módulo de rotura varían de 300 a 2100 KG/CM².

Las especies de pino del país tienen valores del orden de 850 KG/CM².

El módulo de elasticidad, es otro dato que puede obtenerse de los resultados de pruebas de flexión, dividiendo el esfuerzo entre su correspondiente deformación unitaria.

II.3.4.- Cortante.

Pueden distinguirse varios tipos de esfuerzo cortante en la madera. El más importante para el dimensionamiento de elementos estructurales es el esfuerzo cortante paralelo a las fibras. Es difícil determinar la verdadera resistencia de la madera a este tipo de esfuerzo ya que los resultados que se obtienen en los diversos tipos de pruebas que se han utilizado están influenciados por los esfuerzos de tensión perpendicular a las fibras que se generan simultáneamente. De una manera aproximada puede estimarse que la resistencia a esfuerzo cortante paralelo a las fibras es del 10 al 15% de la resistencia a tensión paralelo a las fibras. Para especies mexicanas se han encontrado valores que varían de 20 a 225 KG/CM² para un contenido de humedad del 12%. Las especies de pino del país tienen valores alrededor de 40 KG/CM².

La resistencia de la madera a esfuerzo cortante perpendicular a las fibras es mucho mayor que su resistencia a esfuerzo cortante paralelo. La rotura en planos transversales no llega a presentarse porque antes de que esto pueda suceder el elemento sujeto a la acción cortante falla, sea por esfuerzo cortante paralelo o sea por aplastamiento en compresión de las fibras. Así por ejemplo, en la viga de la figura 2.10 se aprecia que las cargas transversales producen esfuerzos cortantes en planos horizontales y verticales; la falla se produce siempre en planos horizontales, paralelos a la orientación de las fibras en la región próxima al eje neutro, donde se producen

los esfuerzos cortantes máximos.

Un tipo de esfuerzo cortante peculiar es el esf. cortante "rodante", llamado así porque tiende a hacer rodar las fibras sobre sí mismas. Se presenta en elementos de madera sometidos a carga transversal de tal manera que las fibras quedan perpendiculares al claro (fig. 2.11).

La resistencia de la madera a esfuerzo cortante rodante es del 10 al 20% de su resistencia a esfuerzo cortante paralelo a las fibras.

II.4.- Otros factores que influyen en el comportamiento y resistencia de la madera.

Como sucede con cualquier material orgánico, las propiedades de la madera exhiben considerable variabilidad. Existen diferencias importantes no solamente entre árboles de especies distintas, sino también entre árboles de la misma especie. Aún cuando se mantengan constantes el contenido de humedad y la temperatura, y se apliquen las pruebas en condiciones estándar, los esfuerzos cuyo efecto se desea estudiar varían el comportamiento de la madera de una forma mayor que para la mayoría de los materiales artificiales.

A continuación se presentan algunos de los factores que también influyen en el comportamiento y resistencia de la madera.

II.4.1.- Nudos.

La denominación de los nudos en piezas de madera, obedece a su localización sobre las caras del elemento que se trate; así, se puede mencionar que existen nudos de canto ó en el canto; nudos de borde ó en el borde; nudos centrales ó en la zona central de la cara. En la figura 2.12 se muestran gráficamente dichas zonas.

Ahora bien, los nudos son porciones de las ramas que quedan rodeadas por la madera del tronco. Los nudos se pueden

clasificar en dos tipos, que son a saber:

- a) Nudo fijo: Son aquellos nudos vivos, es decir, cuando las ramas están vivas y envueltas por el material del tronco, sus tejidos son continuos con los del tronco.
- b) Nudo flojo: Cuando una rama muere, ésta cae y queda un muñón que termina rodeado por los tejidos del tronco; en éste caso no existe continuidad entre los tejidos del nudo y los del tronco.

En la figura 2.13 se muestran éstos dos tipos de nudos.

Realmente, la única diferencia entre ambos tipos de nudo está en la continuidad de los tejidos del nudo con los del tronco.

Es importante señalar que los nudos, ya sean fijos o flojos, influyen en la resistencia de la pieza de madera sometida a un determinado esfuerzo; compresión, flexión, tensión, o cortante; además de lo anterior, otro factor que influye en la resistencia es el tamaño y localización del nudo, así como también del tipo de acción aplicado a la pieza.

En general, la presencia de un nudo reduce la resistencia porque se disminuye la cantidad de material resistente, se interrumpe la continuidad de algunas fibras y se desvía una cantidad considerable de las fibras en la proximidad del nudo.

En la figura 2.14 se presentan las discontinuidades y desviaciones de las fibras ocasionados por nudos.

11.4.2.- Influencia del tiempo.

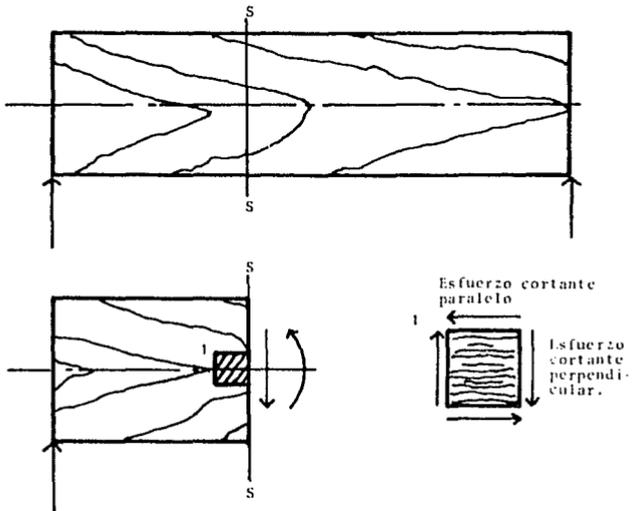
En los incisos siguientes se describe la forma en que el tiempo interviene en algunos aspectos del comportamiento mecánico de la madera.

11.4.2.1.- Duración de la carga.

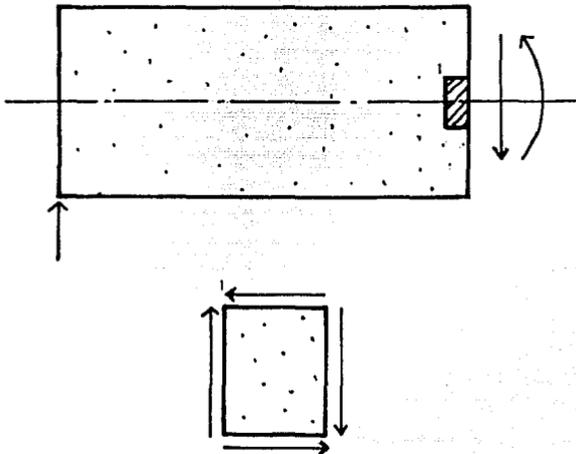
Una forma de hacer que la resistencia de la madera -- disminuya es la aplicación de una carga por un tiempo prolonga-- do, es decir, cuanta mayor la duración de la aplicación de una carga, menor será el valor que debe alcanzar la carga para produ-- cir la falla. Así, por ejemplo, la carga requerida para produ-- cir la falla después de un período de 10 años será del orden -- de 60% de la necesaria en una prueba estructural normal con una duración de cinco minutos.

11.4.2.2.- Fatiga.

La fatiga es la falla ó deterioro que sufre un mate-- rial cuando se le somete a cargas repetidas inferiores a su re-- sistencia estática. Desgraciadamente la información sobre el -- comportamiento de la madera bajo fatiga es escasa, sin embargo, parece ser que el riesgo de fallas por fatiga en la madera es -- menor que para materiales cristalinos como los aceros (ref. 2).

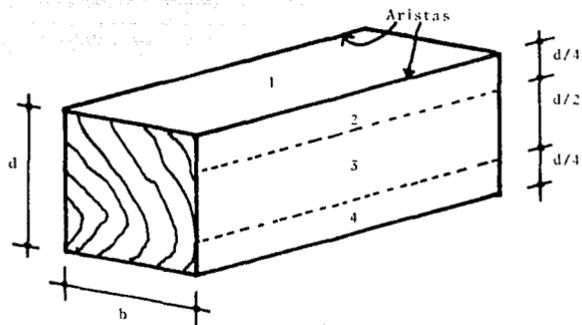


UNAM	UNEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Comportamiento de la madera bajo cortante.	
PABLO GARCIA C.	Fig 2.10

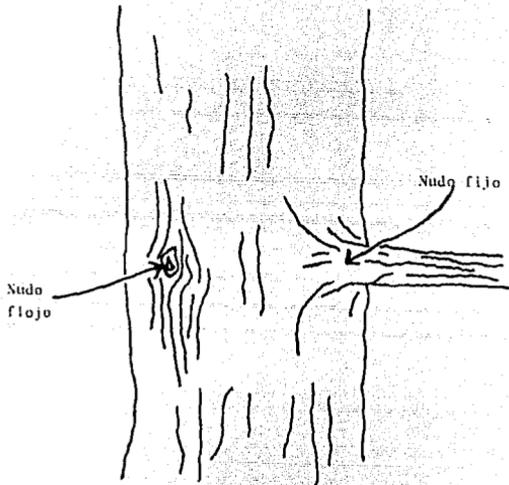


UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Comportamiento de la madera bajo cortante "rodante"	
PABLO GARCIA G.	Fig 2.11

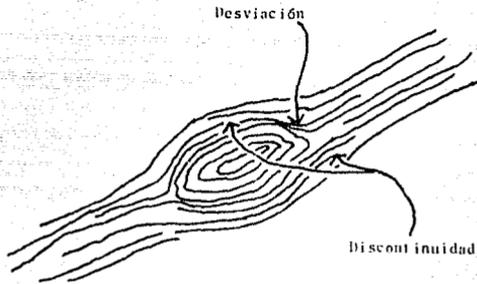
- 1.- Canto
- 2.- Zona de borde
- 3.- Zona central
- 4.- Zona de borde



UNAM	EXEP ACATELÁN
TESIS PROFESIONAL	
Zonas de localización de nudos en un elemento de madera.	
PABLO GARCÍA G.	Fig 2.12



USAM	ENEP AGATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Nudos fijos y flojos.	
PABLO GARCIA G.	Fig. 2.1.



UNAM

ENEP ACULCAN

TESTES PROFESIONAL

Discontinuidades y desviaciones de las fibras ocasionadas por nudos.

PABLO GARCIA G.

Fig 2, 14

CAPITULO III. - CONSERVACION Y TRATAMIENTO DE LA MADERA

La madera es un material susceptible de deteriorarse con el tiempo por su naturaleza orgánica, los principales causantes de su deterioro son organismos tales como:

- hongos
- insectos

Otro causante que puede originar deterioro en la madera es el fuego.

Sin embargo, con técnicas preventivas y tratamientos de preservación adecuados se puede lograr que las estructuras de madera tengan una durabilidad comparable a la de otros materiales.

Un factor importante a considerar en las medidas de protección que se adopten es la humedad, que influye en los daños que pueden ocasionar algunos de los organismos mencionados, así como también en el comportamiento mecánico y durabilidad de las estructuras de madera. Por ello es importante lograr que el contenido de humedad de la madera sea el más apropiado para el uso al que esté destinada, recurriendo a procedimientos de secado adecuados.

III.1. - Organismos

Como ya se mencionó líneas arriba, los principales organismos causantes del deterioro de la madera son:

- HONGOS:

Este tipo de organismos están adaptados para deteriorar a la madera, ya que están constituidos por finos filamentos llamados "hifas" que penetran y se desarrollan en los poros y cavidades de la madera.

Estos filamentos elaboran exoenzimas que descomponen a la celulosa y a la lignina en productos digeribles que son

absorbidos y aprovechados como nutrientes por el hongo.

Los hongos requieren de ciertas condiciones para su desarrollo, éstas son:

- a) Humedad: Los hongos requieren de cierta humedad para que las exoenzimas puedan trasladarse a las paredes celulares. Para que dicho traslado no se lleve a cabo es necesario que la madera tenga un contenido de humedad $\geq 18\%$.
- b) Oxígeno: Los hongos necesitan respirar, si la madera está completamente saturada con agua no existirán espacios con aire y por lo tanto los hongos no podrán respirar. Sin embargo, necesitan un mínimo de aire dentro de la madera para respirar, que se estima que debe ser del orden de 50 a 80% del total del espacio libre.
- c) Temperatura: El rango de temperatura para el desarrollo del hongo en la madera es de 20°C a 36°C.
- d) Alimento: Como ya se mencionó, el alimento de los hongos consiste en la celulosa y la lignina.

Si alguna de las consideraciones anteriores (excepto la "d" por razones obvias) son controladas de tal forma que no se encuentre entre los valores indicados podemos provocar una condición desfavorable para el desarrollo del hongo. Por lo anterior, decimos que el éxito de las técnicas de preservación de la madera reside en modificar alguno de los cuatro factores, impidiendo de éste modo el desarrollo y por lo tanto el deterioro.

Considerando el grado de deterioro, los hongos se clasifican en tres grupos:

- Los hongos que producen una mancha, generalmente azulosa, sin reducir significativamente la resistencia mecánica.
- Los hongos que producen la pudrición, alimentándose de los componentes de las paredes ce-

lulares (celulosa y lignina). La madera se ve afectada grandemente en su apariencia, densidad y a su resistencia mecánica.

- Los hongos que producen "pudriciones blandas", son un tipo de pudrición muy especializada -- que únicamente se presenta cuando la madera está sujeta a humedades y temperaturas altas. Afecta notablemente apariencia y resistencia mecánica.

- **INSECTOS:**

Por la cantidad y valor de los daños que causan, éstos organismos ocupan el segundo lugar en importancia después de los hongos.

Los más dañinos son las termitas ó polillas siendo su alimentación básica la madera, ya sea sana ó en sus diferentes grados de pudrición.

Entre las aproximadamente 2000 especies de termitas distribuidas en todo el mundo, es suficiente con saber diferenciar entre las termitas de madera seca y las termitas subterráneas.

Las termitas de madera seca ocurren principalmente en las áreas cercanas a las costas, su nombre se deriva de su capacidad de vivir en madera seca sin contacto alguno con el suelo. Un signo de la presencia de éstas termitas en una estructura, son los pequeños gránulos duros de material fecal de poco menos de 1 mm de largo con los extremos redondeados y color variable, de acuerdo a la madera de la que se están alimentando. Otro signo de presencia de éstos insectos se detecta por la existencia de acumulaciones de serrín bajo los orificios de salida de los adultos. Alteran severamente todas las características físico-mecánicas de la madera. Resisten bien los cambios de temperatura y humedad, ya que sus cuerpos están cubiertos de una capa protectora que evita su desecación.

Las termitas subterráneas son muy sensibles a cambios de temperatura, pero especialmente a cambios de humedad, ya que sus cuerpos no tienen protección adecuada para evitar la desecación en ambientes que no tienen una alta humedad relati-

va; necesitan el contacto de una fuente de humedad constante, ésta fuente en general es el suelo, desde donde construyen -- tubos ó corredores recubiertos de partículas de suelo ó arena cementadas con sustancias producidas por las mismas termitas, para alcanzar la madera seca que no está en contacto directo con el suelo. En algunos casos la misma mezcla es usada para cubrir las superficies de la madera que están atacando. Las termitas subterráneas pueden vivir dentro de la madera sin tener contacto con el suelo cuando la madera está continuamente húmeda.

III.1.1.- *Prevención y control.*

Una forma de proteger a la madera al ataque de los hongos es mantener su contenido de humedad por debajo del 18%. Para lograr lo anterior será conveniente proteger a la madera estructural de la lluvia, dándole un tratamiento que se mencionará más adelante; además, es útil contar con ventilación adecuada en los espacios entre techo y plafón.

Sin embargo, el contenido de humedad puede ser mayor al 18% si la madera está en contacto directo con el suelo, por lo que debe tratarse con algún preservador por el método más adecuado.

Cuando la madera no está en contacto con el suelo, el riesgo de ser atacada por hongos es menor, por lo que un tratamiento de preservación por inmersión es satisfactorio para protegerla. Cuando el riesgo es bajo, la aplicación de la solución preservadora a base de brocha es suficiente ya que -- los efectos de este método en cuanto a protección es mínima.

El uso final de la pieza en muchas ocasiones determina el tipo de solución preservadora. Si la pieza se va a pintar ó la apariencia es un factor muy importante se recomiendan soluciones de sustancias tóxicas en agua ó en aceite ligero.

Por el contrario, si la apariencia de la superficie no es importante, la creosota ó pentaclorofenol disuelto en -- aceite oscuro podrían usarse.

El uso de la madera naturalmente resistente al ataque por las termitas (tabla 3.1) en los elementos estructurales, - no siempre es económica; y los tratamientos con preservadores, - son las medidas preventivas recomendadas.

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO
Amapa	Tabebuia Guayacana
Andiroba	Carapa guianensis Aubl
Candelera	Cordia collococa
Canshan	Termularia amazonia
Catalox	Suartzia Panamensis Benth
Cedrillo	Guarea glabra Vail
Cedro	Cedrela Mexicana M. Roen
Chicozapote	Manilkara zapota L.
Cuapinol	Hymenea courbaril
Cueramo	Cordia alliodora
Guanacaste	Enterolobium cyclocarpun
Guapaque	Dialium guianense
Guayacan	Guaracum sanctum
Jobillo	Astronium graveolens
Mora amarilla	Chlorophora tinctoria
Michiche	Lonchocarpus castilloi
Pucté	Bucida buceras

TABLA 3.1 Maderas mexicanas de dura-
men resistente al ataque
por termitas subterráneas
6 de madera seca (ref. 9).

En cuanto a las termitas de madera seca, los trata-
mientos a presión con preservadores que contengan elementos in-
secticidas son los más efectivos gracias a su alta penetración
y retención en la madera.

Los tratamientos por inmersión, aspersion 6 por bro-
cha sólo son recomendables cuando no se cuente con el método an-
tes mencionado; con éstos sistemas de aplicación el preservador
no penetra profundamente en la madera, dejando una barrera de a

penas unos pocos milímetros, por lo que se debe poner mayor énfasis en habilitar la madera antes del tratamiento.

Para los tratamientos sin presión se recomiendan los solventes orgánicos, que no producen cambios dimensionales; una formulación típica para éste tipo de tratamiento son los preservadores repelentes al agua (tabla 3.2).

INGREDIENTE	CANTIDAD NECESARIA PARA 10 LTS
Pentaclorofenol	1250 gr
Insecticida (lindano ó clordano)	250 ml
Parafina	70gr
Aceite de linasa solvente **	825 ml

TABLA 3.2 Preservador repelente al agua * (ref. 9)

* Esta formulación sin la adición de la parafina puede ser usado en interiores.

** El aceite de linasa puede sustituirse por barniz para exteriores (doble volumen del señalado).

Los repelentes al agua tienen como función bajar la tasa de absorción de agua por la madera y con la adición de un insecticida confieren un grado bastante confiable de protección.

Cuando la infestación por termitas de madera seca se ha generalizado en cualquier edificio ó casa, la fumigación es el método más seguro para detener el daño. El compuesto más usado para la fumigación es el bromuro de metilo que es capaz de difundirse hasta las áreas más inaccesibles de la estructura. Consiste básicamente en cubrir la estructura con un material que no permita escapar el gas y dejarlo en ésta forma por aproximadamente 24 horas. La fumigación es cara y necesita de personal altamente capacitado.

Otro método para controlar las termitas de madera se

ca consiste en aplicar polvos desecantes de ácido bórico y sílica fluorinada ó de arsénico (éste último altamente tóxico a humanos) a través de agujeros de aproximadamente 6 mm de diámetro cada 30 cm en madera atacada para controlar la infestación.

En cuanto a las termitas subterráneas, las construcciones de madera no deben de estar en contacto directo con el suelo a menos que la madera haya sido impregnada correctamente con algún preservador por medio de tratamiento a presión, ó bien, emplear alguna especie de madera de conocida resistencia natural a las polillas ó termitas (véase tabla 3.1).

En áreas de alto riesgo de ataque por termitas subterráneas, se puede añadir alguna solución insecticida al suelo alrededor de la estructura.

El tratamiento del suelo para evitar la entrada de termitas subterráneas es aplicable a cualquier tipo de estructura. La función del tratamiento es crear una barrera debajo del edificio, que sea difícil de penetrar por termitas. Heptacloro, clordano, dieldrín y aldrín (éstos dos últimos difíciles de obtener en México) son los insecticidas recomendados para éste tratamiento por su alta persistencia en el suelo. Dieldrín, aldrín y clordano garantizan un mínimo aproximado de 15 años de protección en climas cálidos y húmedos, en climas templados han demostrado su eficacia por más de 20 años.

El tratamiento no aumenta sustancialmente el costo total de la obra.

Aldrín, dieldrín y heptacloro se aplican en emulsiones acuosas al 0.5% y clordano al 1.0%. Las mezclas con solventes orgánicos no deben ser usadas en tratamientos del suelo.

La emulsión debe aplicarse en forma de un chorro grueso a baja presión. En áreas grandes se usan equipos comerciales equipados con una bomba capaz de surtir 45 a 90 Lts/min usando cualquier tipo de manguera y una boquilla para grandes volúmenes.

También se puede habilitar un equipo sencillo, usando tambores de 200 lts para contener la emulsión, a los cuales se les acondiciona una llave de paso en la base, en donde se conec

ta una manguera. Los tambores son colocados a 1 mt ó más de altura desde el suelo para aprovechar la gravedad y descargar la emulsión (fig. 3.1).

Para trabajos en áreas nequeñas, la aplicación se puede hacer usando una regadera para jardín.

El agua debe agregarse cuidadosamente al insecticida concentrado y mezclarse lentamente para evitar la formación de espuma. Cuando el tratamiento es aplicado correctamente, el riesgo para seres humanos, animales y plantas de ornato es mínimo. El desplazamiento de éstos compuestos en el suelo cuando se aplican debajo y alrededor de una estructura es despreciable, sin embargo, éstos insecticidas son tóxicos y se deben tener las precauciones máximas durante su manejo y aplicación (véase apéndice # 2 de la ref. 9, folleto 7).

Es recomendable inspeccionar periódicamente (dos veces al año) los cimientos de concreto ó mampostería para verificar si existe algún inicio de daño causado por los insectos y destruir sus túneles que se localicen sobre los cimientos, recordando que éstas termitas para sobrevivir necesitan estar comunicados con su nido por medio de ellos para mantener las condiciones necesarias de temperatura y humedad.



UNAM

ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

Equipo sencillo para aplicar emulsión insecticida para el tratamiento.

PABLO GARCIA G.

Fig 3.1

III.2.- Preservación de la madera.

Si el uso de detalles constructivos y la utilización de especies de madera con durabilidad natural alta que defiendan a la madera contra la acción de agentes destructores no ofrecen protección adecuada, entonces es necesario recurrir a la aplicación de algún preservador.

Existen varios tipos de preservación de la madera. El sistema empleado depende de las exigencias del servicio. Por ejemplo, un durmiente de ferrocarril, una vez colocado debe resistir una exposición continua a la intemperie y casi todas las condiciones concebibles que provocan deterioro, hasta que el durmiente se desgasta veinte ó treinta años más tarde. En consecuencia, es necesario proveer a éste y a otros elementos similares de un máximo de protección.

III.2.1.- Preservadores y algunas de sus características.

Los preservadores contienen una serie de principios activos, dependiendo de su composición química. En general, éstos productos son solubles en los líquidos corporales ó celulares de los organismos. Al entrar en ellos bloquean la respiración ó el metabolismo celular, inhibiendo ó matando al organismo.

En el caso de algunos preservadores, su modo de acción consiste en actuar como repelentes, especialmente de insectos. Estos preservadores deben reunir las siguientes características:

- Ser tóxicos a los organismos destructores de la madera.
- Penetrar fácilmente en la madera
- Tener un alto poder residual
- No dañar a la madera ni a los metales
- Ser fáciles de aplicar

Las soluciones de preservadores más conocidas en México (ref. 6) son a base de creosota, pentaclorofenol y sales

de cobre, cromo y arsénico (CCA).

Una de las desventajas de la creosota consiste en -- que tiene un olor que algunas veces es bastante molesto, y en consecuencia, no es aplicable para la fabricación de elementos que puedan estar en contacto con el cuerpo humano, próximos a alimentos ó en lugares cerrados donde los gases desprendidos -- puedan resultar molestos.

Su aplicación por lo general es por medio de métodos a base de presión. La creosota es un producto de destilación -- de carbón bituminoso consistente en una mezcla de más de cuarenta importantes compuestos tóxicos a hongos e insectos.

El petaclorofenol es un compuesto de cloro y fenol -- en forma de polvo verde-grisáceo. Es soluble en aceites y generalmente se aplica con una concentración del 5%. Su aplicación puede ser por inmersión, aspersion ó a base de métodos a presión. No es tan efectivo frente a deterioros producidos por las termitas, y es más caro que la creosota (ref. 6), pero carece de la mayor parte de sus desventajas y se puede emplear -- en lugares cerrados.

Las sales hidrosolubles de cobre, cromo y arsénico, comúnmente llamadas sales CCA, vienen en varios tipos. Todas -- ellas contienen básicamente los mismos elementos tóxicos a los organismos destructores de la madera, pero en diferentes proporciones, razón por la cual la cantidad de sales requerida -- por unidad de volúmen varía según el tipo de riesgo.

Todos los tipos de éstas sales son igualmente efecti -- vos. La madera tratada con ellas queda limpia y se le puede aplicar toda clase de acabados, sin embargo, será necesario se -- car la madera después de tratada. Por lo general la madera se impregna con métodos a base de presión.

En la madera tratada, los preservadores oleosos (co -- mo la creosota) penetran a los espacios intercelulares, mien -- tras que los hidrosolubles (sales a base de cobre-cromo-arséni -- co) reaccionan químicamente y se presipitan en las paredes ce -- lulares.

III.2.2.- Métodos de tratamiento.

Los métodos de aplicación de preservadores son muy variados; van desde los del tipo doméstico hasta los que requieren plantas de impregnación. Es necesario determinar qué métodos de tratamiento son más convenientes según las características de las diversas regiones. Esto implica la investigación del tipo de organismos destructores que predominan en cada región y la selección de los tipos de preservadores más convenientes en cada caso. Atacar lo anterior implica profundizar en un tema que fácilmente puede ser tema de otro estudio, sin embargo, la referencia 9 (vol. 1) proporciona un estudio profundo al respecto.

La selección del método depende del grado deseado de penetración y retención del preservador, expresado en kilogramos de preservador por M3 de madera. 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: La ventaja de éstos métodos es que no requieren equipo complicado y se pueden llevar a cabo con un mínimo de inversión. Estos procesos son superficiales y su grado de protección es limitado, por lo tanto, no se pueden alcanzar altas penetraciones y retenciones por lo que no se recomiendan para tratar madera con poca permeabilidad o cuando ésta estará expuesta en condiciones con alto riesgo de ser deteriorada por organismos.

- a) Inmersión: Este proceso no requiere cilin-

dros ni equipo de presión ó vacío. Se emplea solamente una cuba de tratamiento en donde se sumergen cargas de madera durante breves instantes. En éste caso se utilizan generalmente preservadores con solvente orgánico.

b) Baño: Este método consiste básicamente en sumergir la madera en un recipiente con la solución preservadora a temperatura alta hasta que la madera tenga la misma temperatura que la solución, e inmediatamente después sumergirla en otro tanque con la solución preservadora a temperatura ambiente. Esto -- causa vacío parcial dentro de las células de la madera lo que hace posible que la presión atmosférica facilite la penetración de la solución preservadora.

c) Aplicación con brocha: Estos tratamientos -- brindan protección muy limitada y sólo se emplean como mantenimiento ó protección temporal.

d) Aspersión: 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 éste método retiene -- poco preservador. Su uso más común es para aplicar fungicidas antimancha.

2. DIFUSION EN MADERA VERDE: La madera en estado -- verde se sumerge en soluciones preservadoras de alta concentración y se apila durante un período de alrededor de 30 días, que permite la difusión (de la superficie hacia el interior de las -- piezas de madera) de los preservadores antes de que la madera se seque. Estos métodos emplean preservadores hidrosolubles a base de Boro, ó formulaciones complejas tipo Flúor-cromo-arsénico-ferrol.

3. PROCESOS A PRESION: Estos son los métodos que -- se utilizan para la aplicación de retardantes de fuego y de insecticidas para maderas expuestas a un alto riesgo de deterioro por organismos. Estos procesos requieren cilindros de tratamiento capaces de resistir altas presiones. Se utilizan bombas neumáticas ó hidráulicas y a veces calefacción para calentar la solución preservadora dentro del cilindro de tratamiento.

a) Célula Vacía: Existen dos modalidades de este método. El proceso Rueping consiste en colocar la carga de madera 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 éstos procesos a tratamientos con creosota y preservadores oleosos. Este proceso (célula vacía) se llama así porque el preservador queda en las paredes celulares, pero las cavidades celulares quedan vacías.

b) Célula Llena: En este método, la madera se coloca en un cilindro, 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, lo que al evaporarse depositan los tóxicos en las paredes celulares.

La preservación por cualquiera de los dos métodos descritos (célula vacía y célula llena) convierte a la madera en un material noble con resistencia al ataque de hongos ó insectos y de una larga y confiable vida útil. La durabilidad de la madera tratada hincada en el suelo es superior a 25 años y en usos sobre el suelo, superior a los 40 años (ref. 9), pudiendo llegar a ser hasta de 100 años dependiendo de su mantenimiento.

En la tabla 3.3 se muestra una guía para el uso de preservadores. Recordemos que la elección del uso del preservador depende del tipo de organismos que existen en la localidad.

TIPO DE SOLUCION	METODO DE TRATAMIENTO	RIESGO DE DAÑO
Hidrosolubles, pentaclorofenol, insecticidas	Con brocha, inmersión, aspersión o baño	Bajo
Creosota, pentaclorofenol	Célula vacía	Alto
Hidrosolubles, retardantes de fuego	Célula llena	Alto
Hidrosolubles (boro y flúor)	Difusión en madera verde	Medio

TABLA 3.3 Guía para el uso de preservadores (ref. 3).

III.2.3.- Tratamiento retardante al fuego.

Uno de los factores que más ha contribuido al rechazo a la madera como material de construcción en México es el hecho de que es combustible. Los mecanismos de combustión en la madera pueden ser los siguientes:

La madera sometida a altas temperaturas sufre -- una descomposición, pudriéndose alquitranes y gases que al mezclarse con aire pueden inflamarse. La temperatura a la que se inicia la combustión es de 330 a 600 °C, dependiendo de que el calor sea transmitido por aire ó transmitido por otros cuerpos.

Por otro lado, en la resistencia de la madera al fuego es muy importante la relación entre forma y dimensiones de la -- pieza. Por ejemplo, una astilla prende fácilmente, el fuego se -- propaga con rapidéz y se consume en segundos ó minutos. Una pieza grande, con mucho volúmen en comparación con su área (una -- pieza de 25 X 30 X 500 cm por ejemplo) se prende con mayor difi -- cultad que una astilla, la propagación de la llama se reduce con -- siderablemente y se consume muy lentamente. En la superficie se forma una capa de carbón que actúa como aislante.

Durante la combustión de la madera, se producen gases y humos tóxicos, sin embargo, éstos no son tan peligrosos como -- los producidos por otros materiales como son los plásticos, fi -- bras sintéticas, etc... de uso común en muchas construcciones.

El uso de materiales aislantes tales como fibras mine -- rales, capas de asbesto, tableros de yeso, son de gran ayuda en cuanto a la acción retardante al fuego.

Los retardantes de fuego, y su tratamiento (éste últi -- mo tratado en el inciso anterior), más efectivos son soluciones de fosfato mono y dibásico de amonio, ácido fosfórico, sulfato -- de amonia, bórax, ácido bórico y cloruro de zinc. El más eficaz -- es el fosfato de amonia ya que reduce la inflamabilidad de la ma -- dera al máximo.

III.3.- Secado de la madera.

Los troncos de los árboles tienen como funciones las de

sostenerlos y actuar como conductores de savia, es decir, de agua con diversas sustancias disueltas en ella, de las raíces a las hojas y viceversa. Al ser derribado un árbol, el tronco contiene gran cantidad de agua localizada dentro de la estructura de la madera.

Parte de ésta humedad es perjudicial porque propicia la acción de determinados organismos y origina cambios volumétricos en la madera, cuando el contenido no permanece constante a lo largo del tiempo. Para lograr que el contenido de humedad sea el conveniente es necesario recurrir al secado. Dicho secado nos proporcionará el contenido de humedad cercano al que va a tener una vez que se ponga en servicio.

III.3.1.- Ventajas principales.

El secado de la madera aporta las ventajas siguientes:

- a) Permite un mejor tratamiento impartándole una mayor duración con preservadores, barnices, pinturas y repelentes al agua.
- b) Aumenta extraordinariamente la resistencia a ser biodegradada, especialmente por hongos, causantes de pudriciones.
- c) Aumenta notablemente la resistencia mecánica, y mejora sus características como aislante térmico, acústico y eléctrico.
- d) Mejora la estabilidad dimensional de la madera en uso, minimizando los cambios dimensionales como respuesta a cambios en contenido de humedad.

El desconocimiento de éstas ventajas que se obtienen de secar y mantener seca la madera ha sido causa de que las construcciones con éste material a veces muestren un comportamiento indeseable debido a que se usó una madera verde ó con un alto contenido de humedad.

III.3.2.- Métodos de secado.

Los métodos más comunes son:

- Secado al aire libre
- Secado en estufas.

Ambas formas en realidad se pueden considerar fundamentalmente como la misma, ya que se usa el aire como el medio a través del cual se conduce el calor a la madera y se recoge el vapor extraído.

En general, el método consiste en extraer humedad de la madera en forma de vapor de agua, para lo cual es necesario suministrarle calor.

Para hacer llegar el calor a la madera, se requiere del uso de los métodos anteriormente mencionados, en donde el secado al aire libre consiste en someter a la madera (piezas) al secado al aire libre a las temperaturas ordinarias del medio ambiente. La otra, que es el secado en estufas, se eleva la temperatura artificialmente por arriba del medio ambiente, sin exceder en la mayoría de los casos los 100°C .

- Secado al aire libre: Este método consiste esencialmente en disponer la madera en paquetes, formando capas con separadores entre ellas y colocadas al exterior de manera que el aire de la atmósfera circule entre ellas y lleve a cabo el secado. La característica del lugar donde se realice éste método es colocar los paquetes bajo una estructura techada pero sin paredes, la cual protege a la madera de la lluvia y de los rayos directos del sol, permitiendo que el aire de la atmósfera circule libremente entre las capas de madera.

La madera se deja en patios de secado hasta que alcanza un contenido de humedad entre 15 y 23%.

La ventaja principal del secado al aire libre sobre el método de estufas, es su bajo costo. Sus desventajas más importantes son el poco control que se tiene sobre los diversos factores que influyen en el proceso de secado, la dependencia del clima y sus variaciones diarias.

En México, el secado al aire libre es el método más u

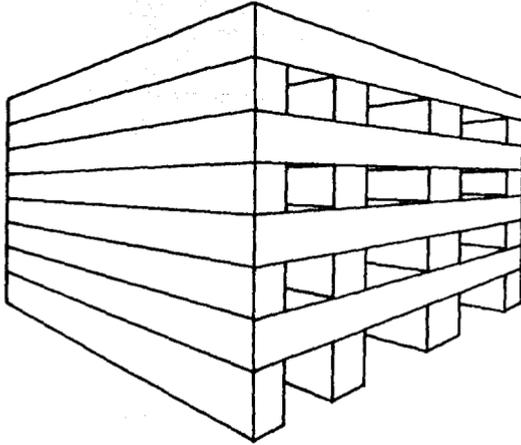
sual y los contenidos de humedad que se logran son suficientes para que la madera pueda ser usada para fines estructurales.

La figura 3.2 muestra una forma típica de la colocación de la madera para secado al aire libre.

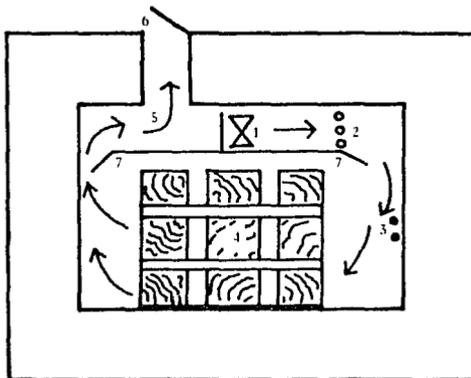
- Secado en estufa: Este método consiste básicamente en colocar la madera en capas con separadores, dentro de un cuarto en el que se puede controlar el calor, la humedad relativa y la circulación del aire, hasta que la madera alcanza un contenido de humedad similar al del método anterior. Mediante este método, el proceso de secado se puede acelerar considerablemente de 1/10 a 1/30 del tiempo requerido al aire libre.

Las ventajas anteriormente señaladas han hecho que en México se haya venido incrementando su empleo paulatinamente, sobre todo para secar madera para muebles y pisos.

La figura 3.3 muestra esquemáticamente los principales elementos de una estufa de secado.



UNAM	ENL ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Colocación de los paquetes para el secado al aire li- bre.	
PABLO GARCIA G.	Fig 3.2



- 1 Ventilador
- 2 Calentador
- 3 Termómetros
- 4 Madera aserrada
- 5 Vapor de agua
- 6 Ventila
- 7 Deflectores

UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Principales elementos de una estufa de secado.	
PABLO GARCIA G.	Fig 3.3

CAPÍTULO IV.- USO ESTRUCTURAL DE LA MADERA.

En el presente capítulo se muestra el uso estructural tanto de la madera laminada encolada como de la madera -- contrachapada ó triplay; en igual forma pero de una manera so-mera se presentan las características y formas de obtención de los tableros de fibra y de los tableros de partículas.

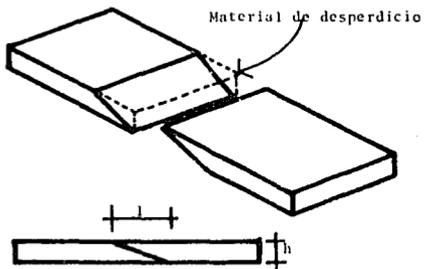
IV.1.- Madera Laminada encolada.

La técnica de la madera laminada encolada consiste - en formar elementos estructurales de grandes dimensiones unien-do piezas de madera relativamente pequeñas por medio de algún - adhesivo.

Tuvo su origen en Alemania y Suiza a principios del - siglo y adquirió considerable auge en diversos países a partir de la segunda guerra mundial gracias al desarrollo de los pega-mentos a base de resinas sintéticas.

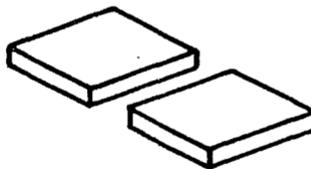
Las piezas utilizadas para formar los elementos de ma-dera laminada son tablas con espesores de 1.5 a 2.5cm, secadas por los métodos anteriormente expuestos, de manera que su conte-nido de humedad sea aproximadamente del 15%. Cada tabla puede - ser de longitud relativamente pequeña. Para obtener piezas de - longitudes importantes pueden usarse varias tablas en cada capa. Como el pegamento utilizado entre las uniones de los extremos - de las tablas es por lo menos tan fuerte como la madera misma, - el comportamiento de elementos laminados es semejante al de pie-zas macizas. El costo por unidad de volúmen de la madera lamina-da es considerablemente superior al costo correspondiente de la madera maciza (Ref.5).

Se mencionó que para obtener piezas de gran longitud - se pueden usar varias tablas ensambladas (fig.4.1) en cada capa, - ahora bien, durante el proceso de secado de las colas, las lami-naciones deben mantenerse unidas bajo presión uniforme, ésto se logra mediante el uso de prensas.



$15 \text{ cm} \leq l \leq 45 \text{ cm}$
pendiente = h/l

a) Empalme biselado



b) Empalme a tope

UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Tipos de empalmes en miembros de madera laminada	
PABLO GARCIA G.	Fig. 4.1

Después del encolado, la sección se maquina para emparejar las caras laterales y limpiar los adhesivos derramados en las juntas. Evidentemente una desventaja de los productos laminados respecto a la madera maciza, es el desperdicio de material debido a las operaciones de cepillado requeridas.

El tipo de cola ó adhesivo utilizado para formar elementos laminados depende del uso al que éstos están destinados. Si el elemento va a estar expuesto a un ambiente húmedo debe usarse un adhesivo resistente a la humedad, como el resorcinol-formaldeído, el fenol-formaldeído ó otras resinas sintéticas semejantes.

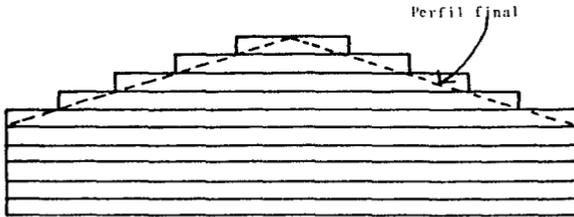
Para miembros protegidos de la intemperie pueden utilizarse adhesivos a base de caseína.

El método de ensamble que menos afecta la resistencia del miembro es el biselado (ver fig.4.1), cuya efectividad aumenta al disminuir la pendiente, definida como la relación entre el espesor de la laminación y la longitud ocupada por la junta. Su principal desventaja es el considerable desperdicio de material, como puede apreciarse en la figura citada. Los empalmes a tope no tienen capacidad para transmitir tensión por lo que en general conviene no recurrir a ellos.

Una de las ventajas de la madera laminada es la posibilidad de producir miembros de formas variadas. Pueden fabricarse vigas de peralte variable como la mostrada en la fig.4.2.

Por medio de un diseño cuidadoso se puede lograr un aprovechamiento óptimo de la madera disponible, ya que la madera de calidad más resistente puede colocarse en aquellas partes del elemento donde los esfuerzos sean críticos, y la calidad inferior donde los esfuerzos sean menores.

En México son contadas las estructuras construídas con madera laminada hasta la fecha, sin embargo, dadas las importantes ventajas que ofrecen, parece probable una tendencia a un uso creciente de ésta alternativa estructural (ref.8).



UNAM	ENEP ACALLAN
TESIS PROFESIONAL	
Manera de fabricar una viga laminada de perfil variable.	
PABLO GARCIA G.	Fig 4.2

IV.1.1.- Esfuerzos permisibles.

Los esfuerzos permisibles recomendados en algunos reglamentos para el diseño de miembros laminados han sido establecidos con base a la información obtenida de ensayos de probetas pequeñas, libres de defectos, y por lo tanto, de sus efectos.

Para determinar el esfuerzo conveniente para el diseño de una viga sujeta a flexión, el esfuerzo básico correspondiente al tipo de madera utilizado debe corregirse por los factores que influyen en la resistencia del elemento, y que son:

- Distribución de nudos
- Inclinación de las fibras
- Tipo de empalmes ó juntas
- Peralte
- Curvatura

Con respecto a los tres primeros factores, se tomará en cuenta únicamente el más desfavorable, es decir, el efecto de los tres no es acumulativo.

En los miembros laminados curvos, para poder tomar en cuenta el efecto de la curvatura, el esfuerzo básico se multiplicará por el siguiente factor:

$$C_c = 1 - 2000(t/R)^2 \dots\dots\dots 4.1$$

donde

t= espesor de las laminaciones

R= radio de curvatura

t y R expresados en las mismas unidades

El factor de corrección por peralte, está dado por la expresión:

$$C_f = (30.48/d)^{1/9} \dots\dots\dots 4.2$$

donde

d= peralte de la viga, en centímetros

En síntesis, en el caso de vigas cuyo peralte no exceda los 30cm, no existirá la corrección por peralte; en caso contrario deberán corregirse con el factor dado en la expresión 4.2. Si existe curvatura deberá también aplicarse la corrección dada -

por la expresión 4.1.

Los esfuerzos permisibles requeridos para el dimensionamiento de elementos de madera laminada varían con la especie de las láminas que integran el elemento y con el tipo de pegamento, en la tabla 4.1 se dan valores típicos utilizados por el Grupo Guadiana, que reúnen las normas PS56-73 para estructuras de madera laminada unida con resinas.

SOLICITACION	C A L I D A D				ESPECIE DE LAS LAMINAS	FACTOR PARA USO HUMEDO
	16F-ED1	20F-ED1	20P-ED2	24F-ED1		
Flexión y tensión	109	125	112	127	P.D.	0.80
Compresión paralela a la fibra	84	109	109	98	P.D.	0.73
Compresión perpendicular a la fibra	26	26	26	26	P.D.	0.67
Cortante paralelo a la fibra	10	10	10	10	P.D.	0.88
Módulo de Young (x 10 ³)	90	98	98	100	P.D.	0.83

TABLA 4.1 Esfuerzos básicos para diseño en condición seca.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA 79.

IV.1.2.- Factores que influyen en la resistencia y rigidez.

Las vigas son la aplicación estructural más importante de la madera laminada, así, su resistencia a flexión y la rigidez de miembros de madera laminada dependen esencialmente de:

- a) Las propiedades mecánicas y posición de las laminaciones
 - b) Inclinación de las fibras
 - c) Eficiencia de los empalmes
 - d) Nudos
-
- a) Las propiedades mecánicas y posición de las laminaciones.

En vigas de madera laminada es posible combinar laminaciones de distintas propiedades mecánicas y calidades, optimizando así tanto la resistencia como la economía de la pieza. Para ello, y ésta es la principal razón por la cual las laminaciones tienen posición horizontal, las laminaciones de mejores características mecánicas se colocan en las posiciones extremas de la sección donde sus propiedades mecánicas se aprovechan al máximo. Para las laminaciones interiores pueden emplearse laminaciones de calidades inferiores sin que esto afecte la resistencia del elemento en forma importante.

- b) Inclinación de las fibras.

En el inciso anterior se indicó que el comportamiento de vigas laminadas mejora notablemente cuanto mejor sea la calidad de las laminaciones extremas. Por ello conviene colocar laminaciones con la fibra recta en las posiciones más alejadas del eje neutro. La inclinación de las fibras influye poco en la resistencia si las laminaciones se colocan próximas al eje neutro.

- c) Eficiencia de los empalmes.

La presencia de empalmes ó juntas disminuye la resistencia de los miembros laminados. La eficiencia de un empalme se mide por un factor denominado "factor de junta". El factor de junta se define como la relación, expresada como porcentaje, entre la resistencia de una laminación de material libre de defec-

tos y fibra recta, y su resistencia cuando existe un empalme. En la tabla 4.2 se dan los valores de los factores de junta correspondientes a empalmes biselados con diversas pendientes.

PENDIENTE	FACTOR DE JUNTA (%)
1/12	90
1/10	85
1/8	80
1/5	65

TABLA 4.2 Factores de junta (ref.8)

Como se señaló en el inciso IV.1, los empalmes biselados afectan en menor grado la resistencia del miembro, por lo que son los que más se utilizan.

d) Nudos

La presencia de nudos disminuye la cantidad de material resistente y como consecuencia disminuirá la resistencia de la pieza (véase inciso II.4.1.).

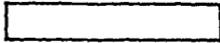
IV.1.3.- Tipos y aplicaciones.

Aunque pueden fabricarse numerosas formas de vigas laminadas encoladas, los tres tipos básicos son: el recto, piramidal y las curvas, como aparecen en la fig.4.3.

El objeto de las vigas de peralte decreciente es proporcionar una superficie inclinada al techo para drenaje.

Estas vigas pueden tener pendiente en una dirección ó estar inclinadas simétricamente a partir del centro del claro, como aparecen en las figuras 4.3b y 4.3c.

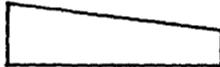
Las vigas rectas y las de peralte variable generalmente se construyen con una pequeña contraflecha. Al calcular la flecha, se considera con frecuencia solamente la carga viva, en el supuesto de que la flecha que produce la carga muerta será la correspondiente a la contraflecha (como práctica común, la contraflecha será igual a 1.5 veces la deflexión por carga muerta).



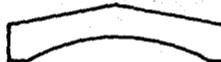
a) Viga recta



c) De peralte variable



b) Viga piramidal



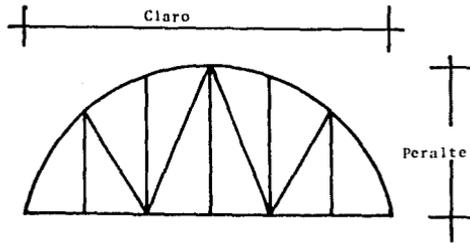
d) Viga curva

UNAM	ESEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Tipo de vigas laminadas.	
PABLO GARCIA G.	Fig 4.3

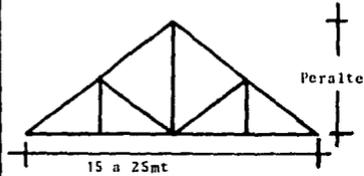
Otra aplicación de la madera laminada es en la construcción de armaduras, en la que el tipo más común es el conocido como el "bowstring"; es una armadura en donde la cuerda superior no es paralela a la inferior, sino que describe un arco de círculo, como la mostrada en la figura 4.4.

La ventaja esencial de este tipo de armadura es que, -- debido a la configuración en arco de la cuerda superior las fuerzas en ésta varían poco a lo largo de su longitud. Por otra parte, las fuerzas en los miembros del alma, que se fabrican de madera maciza ordinaria, son pequeñas. Los claros en que suelen emplearse estas armaduras varían de 15 a 60 mt y las relaciones peralte/claro de $1/6$ a $1/8$.

Aunque menos comúnmente usada, la madera laminada también se utiliza para fabricar armaduras de dos aguas y armaduras de cuerdas paralelas. Los claros usuales para las primeras varían de 15 a 25 mt y para las segundas de 15 a 45 mt. La relación peralte/claro para armaduras de dos aguas es de por lo menos $1/6$, mientras que la de armaduras de cuerdas paralelas varía de $1/8$ a $1/10$ (véase fig.4.5)



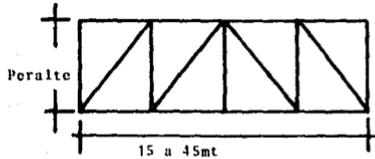
UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Armadura con cuerda superior en arco de círculo ("Bowstring")	
PABLO GARCIA G.	Fig 4.4



15 a 25mt

relación peralte/claro=1/6 mfn.

a) Armadura de dos aguas.



15 a 45mt

peralte/claro=1/8 a 1/10

b) Armaduras de cuerdas paralelas

UNAM

ENEP ACATLAN

TESIS PROFESIONAL

Tipo de armaduras

PABLO GARCIA G.

Fig 4.5

IV.2.- Tableros de madera contrachapada 6 triplay.

En la actualidad los tableros más comunes son los de madera contrachapada 6 triplay. La madera contrachapada está constituida por tres 6 más láminas unidas por una sustancia adhesiva y dispuestas de tal forma que las fibras de cada capa quedan perpendiculares respecto a las de las capas contiguas. El cruzamiento de las fibras de las chapas disminuye la resistencia del triplay en todas direcciones comparada con la resistencia de la madera maciza. Una variante particular es la de los tableros formados por tiras de madera maciza entre dos capas de triplay (fig.4.6).

Las chapas para fabricar el triplay se obtienen desenrollándolas con una cuchilla de trozas que se hacen girar sobre su eje. También se pueden obtener mediante una cuchilla que se desliza paralelamente a la superficie de corte del tronco sin que halla giro (fig.4.7).

En cuanto al tipo de adhesivo a emplear, podemos utilizar los mismos que se mencionaron en el inciso IV.1 considerando las condiciones a la que va a estar expuesta la pieza.

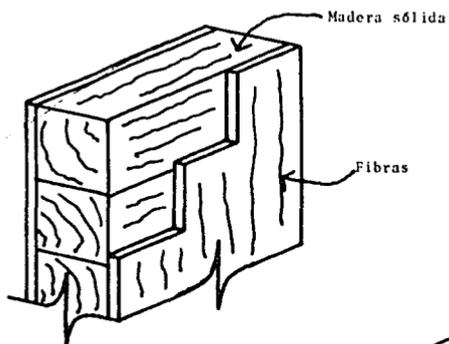
En México, el uso estructural común de la madera contrachapada es en la construcción de cimbras (ref.9) por la calidad de los acabados aparentes que se logran con ella, la sencillez de los sistemas de cimbrado en que se emplea, la facilidad con que permite formar superficies curvas, y su durabilidad, -- que involucra mayor rendimiento 6 usos para cimbra.

El triplay utilizado para tal fin es de madera de pino, y las dimensiones más comunes de las placas de triplay para cimbra son 1.22 x 2.40 mt, con espesores de 9, 12,16 y 21 mm.

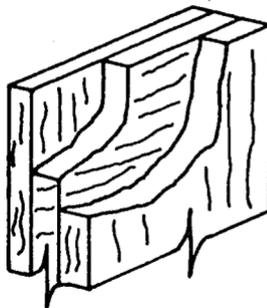
Se utiliza poco en estructuras de otros tipos, a pesar de que la experiencia de otros países indica que puede tener muchas otras aplicaciones entre las cuales pueden mencionarse las siguientes: vigas compuestas de alma de triplay y patines de madera maciza 6 laminada unidas con pegamentos 6 clavos, placas de unión para armaduras, techos curvos, etc...(ref.10).

Además del costo relativamente alto, existen otras razones por las que el empleo del triplay en México está restringido a aplicaciones no estructurales ó solamente a cimbras, como - la escasa información sobre las propiedades del triplay disponible, influye también la limitada experiencia de los profesionistas y técnicos en el diseño y construcción de elementos estructurales de éste material.

En los incisos siguientes se describen las propiedades de la madera contrachapada que deben considerarse en el dimensionamiento y se proporcionan datos sobre esfuerzos permisibles y - módulos de elasticidad típicos.

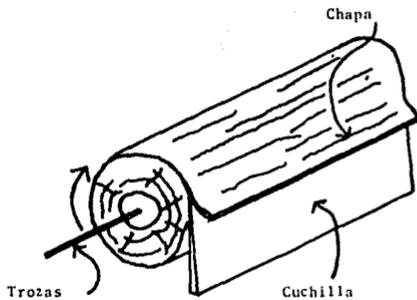
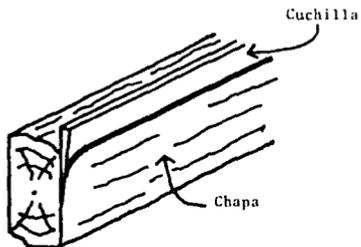


a) Tres capas con centro de tiras de madera sólida.



b) Tres, cinco ó siete capas.

UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Tableros de triplay de varias capas.	
PABLO GARCIA G.	Fig 4.0



UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Formas de obtener chapa para triplay.	
PABLO GARCIA G.	Fig 4.7

IV.2.1.- *Propiedades.*

La disposición de las chapas en la madera contrachapada hace que la resistencia de una pieza de triplay sea menor que la de una pieza de madera maciza de iguales dimensiones. La menor resistencia del triplay respecto a la madera ordinaria se debe a que las capas del triplay cuyas fibras son perpendiculares a la dirección del esfuerzo contribuyen poco a la resistencia.

Al calcular los esfuerzos producidos por las acciones de servicio para compararlos con los esfuerzos permisibles debe tenerse en cuenta la estructura peculiar del triplay, es decir, que los cálculos de esfuerzos no pueden hacerse a partir de las propiedades de sección obtenidas de las dimensiones de la misma, como es el caso de las secciones de madera maciza. Para simplificar la determinación de esfuerzos en triplay los manuales dan propiedades "efectivas" de sección para distintos tipos y medidas de triplay que tienen en cuenta la estructura peculiar del triplay, de tal forma que el proyectista pueda proceder como si se tratara de una placa homogénea ortotrópica, es decir, una placa con propiedades distintas en dos direcciones perpendiculares. Así, los manuales dan valores distintos de áreas y módulos de sección según la dirección considerada. Para el cálculo de deformaciones también se da un momento de inercia distinto para cada dirección. En la tabla 4.3 (ref.9), se dan propiedades del triplay para usos estructurales. La tabla no indica el número de capas ni los distintos espesores puesto que su influencia está implícita en las propiedades dadas, de manera que éste dato no se requiere para el cálculo. Los valores dados corresponden a un ancho de 100 cm.

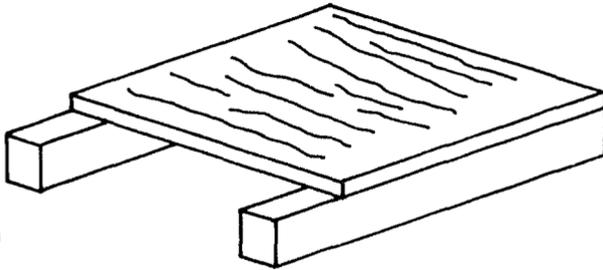
Cuando el esfuerzo se aplica en dirección paralela a la de las fibras de las capas exteriores deben usarse las propiedades dadas en la tabla 4.3, para el cálculo de esfuerzos paralelos. Este es el caso en que los tableros se colocan de manera que las fibras de las capas exteriores queden orientadas en dirección perpendicular a los apoyos con el objeto de aprovechar la mayor efectividad del triplay en ésta dirección (fig.4.8).

PROPIEDADES EFECTIVAS PARA EL CALCULO DE ESFUERZOS PARALELOS A LAS FIBRAS DE LAS CAPAS EXTREMAS.

PROPIEDADES EFECTIVAS PARA EL CALCULO DE ESFUERZOS PERPENDICULARES A LAS FIBRAS DE LAS CAPAS EXTREMAS.

Espesor nominal (pulg)	Peso aprox. (kg/m ²)	Espesor efectivo (cm)	Area de la sección (cm ²)	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Constante para cort. rodante (lb/Q) (cm ²)	Area de la sección (cm ²)	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Constante para cort. rodante (lb/Q) (cm ²)
5/16	4.9	0.90	50.3	3.4	7.7	54.3	25.1	0.30	1.6	---
3/8	5.4	0.94	47.1	5.6	10.5	65.8	30.4	0.40	2.3	---
1/2	7.3	1.38	61.5	12.4	17.1	95.2	49.2	2.3	7.8	54.5
5/8	8.8	1.82	73.3	21.4	23.5	126.9	61.9	7.1	14.4	68.5
3/4	10.7	1.90	93.3	33.7	30.8	149.1	62.2	11.6	19.8	78.3
7/8	12.7	1.97	92.2	47.2	37.1	147.1	74.3	26.2	31.4	107.7
1	14.6	2.76	110.1	72.2	49.6	180.2	137.6	50.0	52.0	147.9
1-1/8	16.1	2.84	140.8	102.6	62.6	191.8	117.3	68.7	60.8	183.6

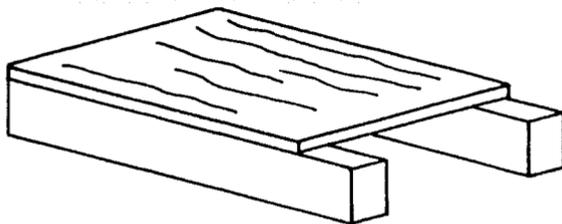
TABLA 4.3 Propiedades efectivas de triplay para usos estructurales (ref.9).



UNAM	ENEF ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Forma de apoyar un tablero con las fibras perpendiculares al apoyo.	
PABLO GARCÍA G.	Fig 4.8

Sin embargo, puede suceder que los esfuerzos se apliquen en dirección perpendicular a la de las fibras de las capas extremas (fig.4.9). En tal caso deben usarse las propiedades para cálculo de esfuerzos perpendiculares.

Cabe señalar, que en los tableros de triplay las fibras de las caras extremas son paralelas al lado mayor.



UNAM	ESEP ACATLAN
TECNOLOGO PROFESIONAL	
Forma de apoyar un tablero con las fibras paralelas al apoyo.	
PABLO GARCIA G.	Fig 4.9

IV.2.2.- Módulos de elasticidad y esfuerzos permisibles.

Los esfuerzos permisibles requeridos para el dimensionamiento de triplay varían con la especie de las láminas que integran el triplay y el tipo de pegamento, sin embargo, en la tabla 4.4 (ref.9) se dan rangos de valores típicos; son aplicables a cargas de duración normal (aproximadamente diez años).

En la tabla 4.4 se muestran esfuerzos cortantes para dos casos: esfuerzos cortantes en planos perpendiculares a las capas de triplay, es decir, a través del espesor del triplay y esfuerzo cortante "rodante".

Los esfuerzos cortantes permisibles a través del espesor se refieren al caso de placas sujetas a un marco en toda su periferia. Cuando la placa está sujeta en sólo dos lados y la sujeción se efectúa en los lados paralelos a las fibras de las caras, los esfuerzos permisibles deben multiplicarse por 0.89 (fig 4.10)(ref.9).

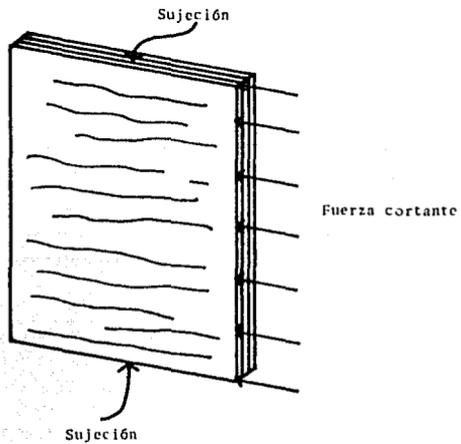
Cuando la sujeción se efectúa en los lados perpendiculares a las fibras de las caras, los esfuerzos permisibles se multiplicarán por 0.75 (fig.4.11)(ref.9).

Los esfuerzos cortantes rodantes deben revisarse en placas de triplay sometidas a cargas normales en su plano, la resistencia a éste tipo de esfuerzo es baja, pero es raro que resulte crítica (fig.4.12).

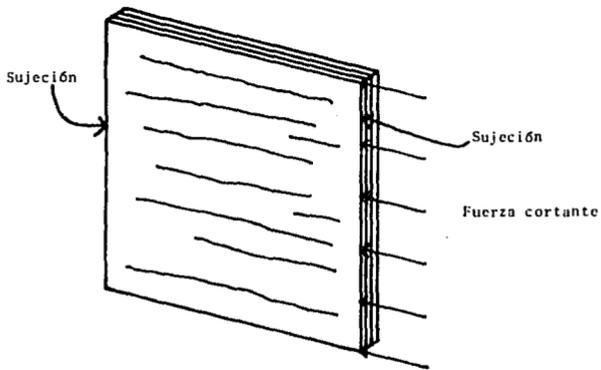
Para tener una visión más clara de lo anterior, se presenta a continuación un ejemplo que se refiere a la capacidad de carga de un tablero de triplay.

T I P O D E E S F U E R Z O	VALOR PERMISIBLE
Flexión (fibras de la cara exterior paralelas ó perpendiculares al claro). Tensión	(kg/cm ²) 55-140
Compresión en el plano de las capas, en dirección perpendicular ó paralela a las fibras de las capas exteriores.	40-115
Aplastamiento (compresión perpendicular a las capas exteriores).	7-24
Esfuerzo cortante en planos perpendiculares a las capas, en dirección perpendicular ó paralela a las fibras de las capas ext.	10-18
Esfuerzo cortante rodante en el plano de las capas en dirección paralela ó perpendicular a las fibras de las caras externas.	3-5
Módulo de elasticidad en flexión (fibras de las capas ext. paralelas ó perpendiculares al claro).	63000-126000
Módulo de rigidez (para fuerza cortante en planos perpendiculares a las capas).	3150-6300

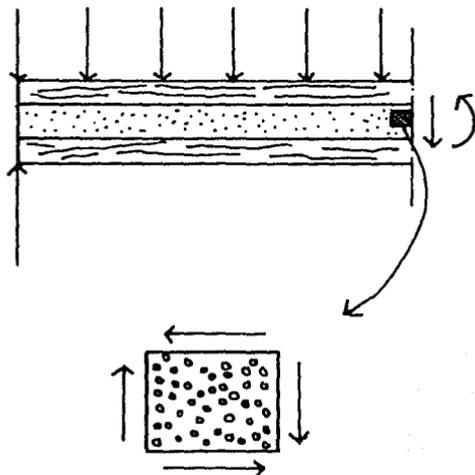
TABLA 4.4 Valores permisibles típicos para triplay aplicables para cargas de duración normal (10 años).(ref.9).



UNAM	ENEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Tablero de triplay sujeto sólo en los lados paralelos a las fibras	
PABLO GARCÍA G.	Fig. 4.10



UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Tablero de triplay sujeto sólo en los lados perpendiculares a las fibras.	
PABLO GARCIA G.	Fig 4.11



UNAM:	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Esfuerzo cortante "rodante" en triplay.	
PABLO GARCIA G.	Fig 4.12

EJEMPLO 4.1

Determinar la carga por m² que puede soportar el tablero de triplay del sistema de piso de la fig.4.13.

Los datos que se tienen del elemento son:

$$f_{bp} = \text{esf. permisible a flexión} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_p = \text{esf. permisible a cortante rodante} = 3.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = \text{módulo de elasticidad} = 85000 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_{\text{máx}} = \text{deflexión máxima} = 0.004L$$

Para determinar la carga por m² se calculará la capacidad por momento, capacidad por cortante rodante y capacidad por deflexión; la menor de las tres es la que regirá.

- Capacidad por momento

$$\text{De } f_{bp} = M/S = \text{momento máximo/módulo de sección}$$

hacemos

$$M = f_{bp} S$$

Por otro lado

$$M = wL^2/8$$

$$\text{por lo tanto } f_{bp} S = wL^2/8$$

despejando w

$$w = 8f_{bp} S/L^2$$

sustituyendo en la ecuación los valores siguientes

$$f_{bp} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 37.1 \text{ cm}^3$$

$$L^2 = 170^2 = 28900 \text{ cm}^2$$

se tiene que

$$w = \frac{8 \times 90 \times 37.1}{28900} = 92.42 \text{ kg/mt}$$

finalmente, la carga por m² es de

$$\underline{92.42 \text{ kg/m}^2}$$

- Capacidad por cortante rodante

Tenemos que

$$V = 0.5wL$$

por otro lado

$$V = v_p (Ib/Q)$$

por lo tanto $0.5wL = v_p (Ib/Q)$

despejando w tenemos que

$$w = \frac{v_p (Ib/Q)}{0.5 L}$$

sustituyendo en la ecuación los valores siguientes

$$\frac{Ib}{Q} = 147.1 \text{ cm}^2 \text{ (tabla 4.3)}$$

$$L = 170 \text{ cm}$$

se tiene que

$$w = \frac{3.5 \times 147.1}{0.5 \times 170} = 6.057 \text{ kg/cm}$$

finalmente, la carga por m^2 es de

$$\underline{605.7 \text{ kg/m}^2}$$

- Capacidad por deflexión

Tenemos que

$$d_{\text{máx}} = 0.004L \text{ (para pisos ó techos de madera, Art.207, ref.11)}$$

por otro lado

$$d = \frac{5wL^4}{384EI}$$

por lo tanto $0.004L = 5wL^4/384EI$

despejando w

$$w = \frac{1.536EI}{5 L^4}$$

sustituyendo en la ecuación los siguientes valores

$$E = 85000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 47.2 \text{ cm}^4 \text{ (tabla 4.3)}$$

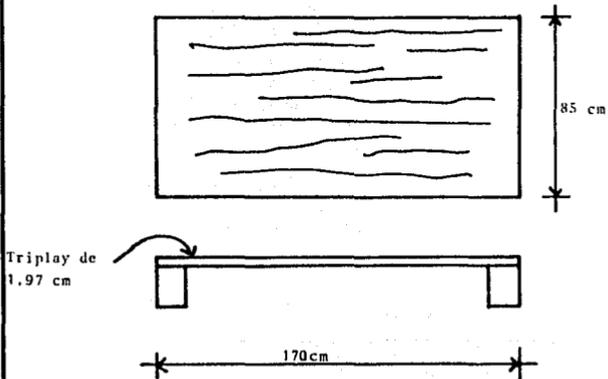
$$L^3 = 4,913,000 \text{ cm}^3$$

se tiene que

$$w = \frac{1.536 \times 85000 \times 47.2}{5 \times 4,913,000} = 0.2508 \text{ kg/cm}$$

finalmente, la carga por m^2 es de

$$\underline{25.08 \text{ kg/m}^2}$$



UNAM	ENEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Sistema de piso del ejemplo 4.1	
PABLO GARCÍA G.	Fig 4.13

Rige la capacidad por deflexión, por lo tanto, la carga por m^2 que soporta el tablero es de $25.08kg/m^2$.

En cuanto a condiciones de apoyo, se consideró al tablero del ejemplo anterior como viga simplemente apoyada; los esfuerzos permisibles de flexión y cortante rodante así como su módulo de elasticidad se eligieron con carácter puramente ilustrativo, ya que la información sobre esfuerzos permisibles y módulos de elasticidad para el triplay que se fabrica en México es escasa. - En caso de usar triplay para fines estructurales se deberán hacer ensayos de acuerdo con las recomendaciones de la American Society for Testing and Materials, con el fin de establecer esfuerzos permisibles apropiados (ref.2). La dirección de las fibras de las caras extremas se consideraron perpendiculares a la dirección de los apoyos, fué por ésto que las propiedades utilizadas en el ejemplo 4.1 se tomaron de la columna "propiedades efectivas para el cálculo de esfuerzos paralelos a las fibras de las capas extremas!"

IV.3.- Tableros de fibra.

Como su nombre lo indica se trata de láminas conformadas con fibras obtenidas de la pulpa de la madera, o bien, mediante la formación de una pasta de madera natural. Los procedimientos que se siguen para obtener dichas láminas son muy variados y dependen del fabricante; la información es muy escasa en la literatura disponible de la especialidad y los fabricantes no proporcionan mayores datos por razones de patente.

Sin embargo, se puede mencionar que las fibras, de pulpa de madera natural, se someten a presión y a condiciones de temperatura similares a las mencionadas en los incisos anteriores para formar láminas.

La propiedad característica de los tableros de fibra es su variada densidad que depende del tratamiento a presión utilizado.

En México se fabrican dos tipos de tableros de fibra: los aislantes, con densidades de 230 a 400kg/m³, y los duros de 800 a 1200kg/m³ (ref.3).

Las medidas comerciales de los tableros de fibra aislante son las siguientes:

- Espesores: 9,12 y 19mm
- Anchos: 1.22mt
- Largos: 1.83, 2.44 y 3.05mt.

Además se ofrecen losetas de 30.5 x 30.5cm.

Las medidas comerciales de los tableros de fibra duros son las siguientes:

- Espesores: 2,3,5,6 y 6.5mm
- Anchos: 0.61,0.91 y 1.22mt
- Largos: 1.22,1.83,2.44,2.75,3.05,3.66 y 5.49mt.

IV.4. - Tableros de partículas

El uso de los tableros de partículas parece estar aumentando a un ritmo mayor que la del triplay y la de tableros de fibra (ref.3). Una de las razones se debe a la fabricación de los tableros de partículas aprovechando materia prima de calidad mediocre, residuos y desperdicios de otras industrias forestales.

Los tableros de partículas ó aglomerados, como a veces se denominan, se fabrican con fragmentos pequeños de madera natural (astillas, virutas, etc..) de cualquier especie, unidas por medio de algún adhesivo, bajo determinadas condiciones de temperatura y presión.

La diferencia principal de los tableros de partículas - respecto a las de fibras radica en que en los primeros siempre será necesario recurrir al empleo de adhesivos. El adhesivo más frecuentemente usado es el urea-formaldehído, que es un pegamento resistente al agua. Cuando se requiere mayor resistencia a la humedad se utilizan adhesivos a base de melamina-urea-formaldehído.

Cuando se requiere de mayor resistencia a la intemperie y al fuego se recurre a resinas fenólicas. Las resinas utilizadas como aglomerantes representan del cinco al diez por ciento - del material de madera seca. En algunos tableros de partículas - se utiliza el cemento portland como aglomerante (ref.9).

En México se producen tableros de peso volumétrico promedio de 400 a 800kg/m³. Algunos tienen tres capas de propiedades mecánicas diferentes, las dos externas más comprimidas y de partículas más pequeñas que la central.

Las medidas comerciales de los tableros fabricados con resinas son las siguientes:

- Espesores: 2,3,4,5,5.5,6,7.5,9,10,10.5,
12,14,16,17.5,19,21,25,30 y
38 mm

- Anchos: 0.91,1.22,1.83 mt.

- Largos: 1.83,2.44,3.05,3.66,4.27 y 4.88 mt.

Los tableros a base de cemento portland tienen las siguientes medidas comerciales:

- Espesores: 25 y 50 mm

- Anchos: 0.61 mt.
- Largos: 2.44 mt.

La introducción en México de los tableros de fibra y tableros de partículas es reciente, sin embargo, uno de los aspectos más interesantes de éstos productos es que pueden diseñarse para satisfacer necesidades específicas incorporando diversas sustancias apropiadas ó modificando convenientemente los tratamientos térmicos ó mecánicos a los que pueden ser sometidos (ref 9). Así, pueden lograrse tableros con determinadas características de resistencia al fuego, la humedad, la pudrición ó a las diversas acciones mecánicas requeridas para aplicaciones estructurales. En México, los usos preferidos han sido cancelería, revestimiento de muros y muebles (ref.9).

CAPITULO V.- MIEMBROS ESTRUCTURALES DE MADERA.

Una estructura es un conjunto de miembros estructurales (trabes, vigas, columnas, etc.), que se combinan en una forma ordenada para cumplir una función específica. Dicha función puede ser:

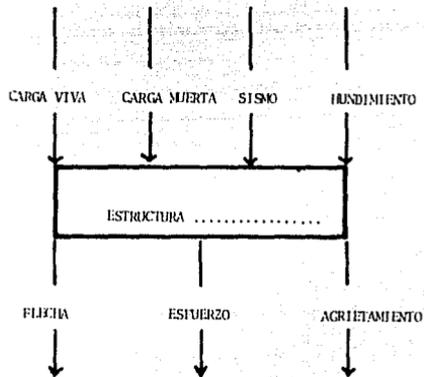
- salvar un claro (puentes)
- encerrar un espacio (edificios)
- contener un empuje (silos).

La estructura debe cumplir la función a la que está destinada, con un grado de seguridad razonable y de manera que en las condiciones normales de servicio tenga un comportamiento razonable, es decir, que no se deforme excesivamente, que no vi bre demasiado, que no se agriete.

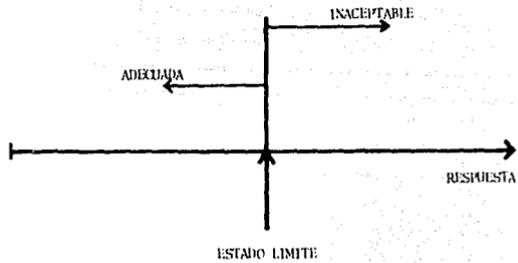
Así, el diseño estructural tiene como objeto proporcionar soluciones que den lugar a un buen comportamiento de la estructura en condiciones normales de funcionamiento y una seguridad adecuada contra la ocurrencia de algún tipo de falla. Esto implica un conocimiento de la relación que existe entre las acciones que obran sobre la estructura, las características geométricas de ésta y las propiedades de los materiales de que está construida, por una parte, y, por otra, las respuestas de la estructura, es decir, su comportamiento. Esquemáticamente éste concepto se visualiza en la forma ilustrada en la fig.5.1(ref.11)

Para que la construcción cumpla con las funciones para las cuales está siendo proyectada, es necesario que la respuesta de la estructura se mantenga dentro de los límites que no afecten su correcto funcionamiento, ni su estabilidad. Debe definirse por tanto cuáles son en cada caso los límites admisibles de la respuesta estructural (fig.5.2); éstos dependen del tipo de construcción y de su destino.

Se llama estado límite de una estructura a cualquier etapa de su comportamiento a partir de la cual su respuesta se considera inaceptable. Se distinguen dos tipos de estados límite (ref.11): estados límite de falla y de servicio.



UNAM	ENEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Representación esquemática del mecanismo acción-respuesta.	
DARÍO GARCÍA G.	FIG. 5.1



UNW	INSTR. ACULCAN
TESIS PROFESIONAL	
Respuesta estructural y estados límite	
PABLO GARCIA G.	FIG. 5.2

- Estados límite de falla:

Son aquellos relacionados con la seguridad y corresponden a situaciones en las que la estructura sufre una falla total ó parcial, ó simplemente presenta daños que afectan su capacidad para resistir nuevas acciones. La falla de una sección por cortante, flexión, torsión, carga axial, ó cualquier combinación de esos efectos, que llamaremos fuerzas internas, constituye un estado límite de falla, así como la inestabilidad global de la estructura, el pandeo de uno de sus miembros y el pandeo local de una sección, entre otros.

El proyectista debe procurar que no se presenten estos límites de falla debidos no sólo a las acciones que ocurren durante la operación normal de la estructura, sino también a las acciones correspondientes a condiciones excepcionales.

- Estados límite de servicio:

Son aquellos que, aún sin poner en juego la seguridad de la estructura, afectan el correcto funcionamiento de la misma. Estos comprenden las deflexiones, agrietamientos y vibraciones excesivas, así como el daño en elementos no estructurales de la construcción.

En términos de los conceptos aquí definidos, el objetivo del diseño estructural puede definirse como el de proporcionar una seguridad adecuada ante la aparición de estados límite de falla para las acciones más desfavorables que puedan presentarse durante la vida útil de la construcción y procurar que en las condiciones normales de operación no se sobrepasen los estados límite de servicio.

V.1.- Esfuerzos permisibles.

Para dimensionar elementos de madera por medio del método de esfuerzos permisibles es necesario establecer valores que garanticen un grado de seguridad adecuado. Los tipos de esfuerzos requeridos son:

- compresión paralela a las fibras
- compresión perpendicular a las fibras
- tensión paralela a las fibras
- flexión
- esfuerzo cortante paralelo a las fibras

Además, deben determinarse valores del módulo de elasticidad.

El esfuerzo de compresión paralela a las fibras se necesita para el dimensionamiento de columnas y determinados miembros de armaduras, así como también de puntales. El esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras hace falta para revisar los apoyos de vigas. La tensión paralela a las fibras se emplea para dimensionar las barras de armaduras sometidas a este tipo de esfuerzo. Los esfuerzos a flexión y cortantes se requieren para el dimensionamiento de vigas. El módulo de elasticidad interviene en los cálculos de deflexión, pandeo y estabilidad lateral.

La elección de los esfuerzos permisibles convenientes es uno de los aspectos críticos del dimensionamiento de elementos estructurales de madera. Influye en la resistencia de la madera toda una serie de factores tales como la duración de la carga, el contenido de humedad, la orientación de las fibras, la forma y tamaño de la pieza.

A continuación se presenta el método llamado de probetas pequeñas "limpias" que es un procedimiento común para la obtención de esfuerzos permisibles.

V.1.1.- Determinación a partir del ensayo de probetas pequeñas "limpias".

Las propiedades mecánicas de la madera pueden estudiarse ensayando probetas "limpias". Por probeta limpia se entiende una probeta de fibra recta, libre de nudos y rajaduras.

Por lo anterior, es natural suponer que las propiedades resistentes de las piezas estructurales difieran considerablemente de las obtenidas con probetas limpias, ensayadas en condiciones en que no intervienen diversos factores tales como la

duración de la carga, contenido de humedad, orientación de las fibras, etc. El problema, ahora, consiste en cómo pasar de los resultados de ensayos con probetas limpias a esfuerzos permisibles que proporcionen un grado de seguridad razonable en las estructuras reales.

En esencia, lo que se busca con éste tipo de ensayo es determinar un esfuerzo básico, definido como un índice de la resistencia de la madera libre de defectos, al que se aplican -- diversos factores de corrección, que más adelante se les dará su definición.

Para obtener información sobre la resistencia a los -- principales tipos de acciones de determinada especie ó grupos de especies, es necesario llevar a cabo un número de ensayos bastante elevado (ref.9) de probetas limpias pequeñas. En la referencia 12 se dan indicaciones detalladas sobre la manera de llevar a cabo éstos ensayos. En la fig.5.3 se muestra una distribución típica de resistencias obtenidas de ensayos de flexión, compresión, etc., se observa que dichas distribuciones son muy parecidas a las normales ó gaussianas. Por lo tanto, en el análisis de los resultados de conjuntos de ensayos suelen considerarse aplicables las propiedades de éste tipo de distribuciones.

De acuerdo con los principios de la estadística, la tendencia central de un conjunto de datos está indicada por la media \bar{X} de los datos:

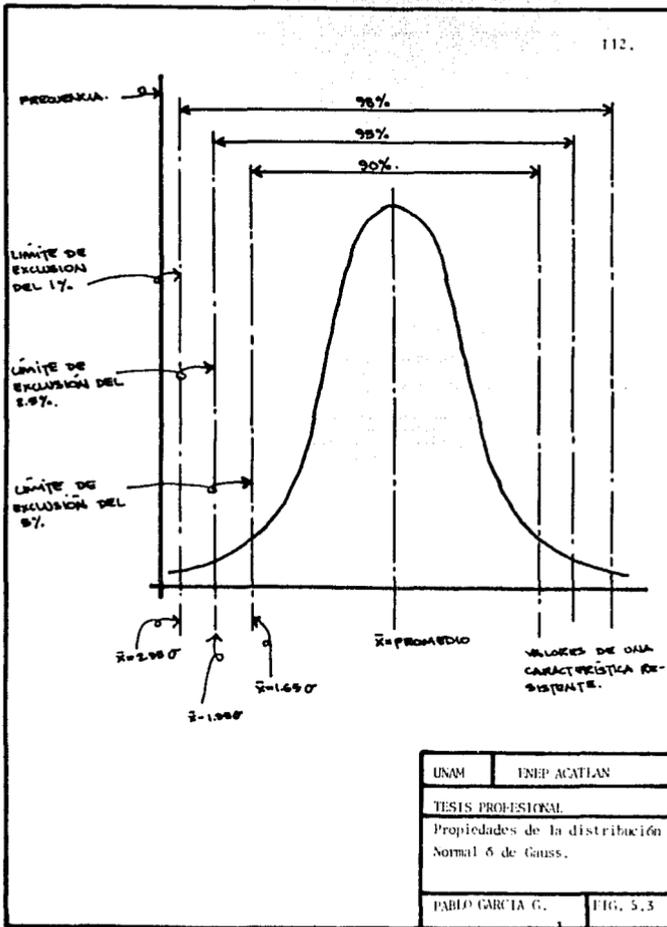
$$\bar{X} = \sum x/n \dots \dots \dots 5.1$$

donde

x=valores de los datos individuales

n=número de datos

Además de que las propiedades mecánicas varían mucho según la especie, dentro de la misma especie, e incluso de un mismo árbol, existe un grado considerable de variabilidad (referencia 2), para tener en cuenta esa variabilidad, en lugar de tomar el valor promedio se toma un valor bastante menor que la media de manera que la probabilidad de tener valores inferiores sea baja, a veces llamado "límite de exclusión". En las normas americanas y en las inglesas se considera un límite de exclusión del 5% y 1% respectivamente; en países con poca experiencia en el uso de la madera, se recomienda un valor del 1% (ref.1).



Si se conoce la media de los datos y se considera que la distribución es normal, el valor correspondiente al límite de exclusión puede calcularse restando de la media el valor de la desviación estándar multiplicada por un factor que varía según el límite de exclusión deseado (véase fig.5.3). La desviación estándar, D, se determina por medio de la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \dots\dots\dots 5.2$$

Los esfuerzos básicos se obtienen dividiendo los valores correspondientes al límite de exclusión adecuado por un coeficiente de reducción. Los factores de reducción se componen de un factor de seguridad y de un factor que toma en cuenta el efecto de la duración de la carga. Sin embargo, éste factor de reducción no puede determinarse con precisión porque no se cuenta con la suficiente información. Los valores que se proponen en la tabla 5.1 se basan en la interpretación de la experiencia acumulada a través de los años.

Resumiendo lo anterior, podemos decir que para obtener el esfuerzo básico de cierto esfuerzo, y considerando un límite de exclusión del 1%, podemos utilizar la siguiente expresión:

$$f_b = \frac{f_m - 2.33 D}{K_r} \dots\dots\dots 5.3$$

donde

fb=esfuerzo básico

fm=esfuerzo promedio de los esfuerzos
a la falla

D=desviación estándar

Kr=factor de reducción

2.33=coeficiente que corresponde a una probabilidad de uno en cien

Una vez obtenidos los esfuerzos básicos, se procede a determinar los esfuerzos permisibles, que para efectos de diseño, se tomó en cuenta la clasificación según DGN C-18 1946 y según las Normas Técnicas Complementarias.

TIPO DE ESFUERZO	NORMAS INGLESAS			NORMAS AMERICANAS		
	PROBABILIDAD	K_n	K_r	PROBABILIDAD	K_p	K_r
Flexión y tensión	1 en 100	2.33	2.25	5 en 100	1.65	2.10
Compresión paralela a las fibras	1 en 100	2.33	1.40	5 en 100	1.65	1.90
Compresión perpendicular a las fibras	1 en 40	1.96	1.20	5 en 100	1.65	1.50
Cortante	1 en 100	2.33	2.25	5 en 100	1.65	4.10

TABLA 5.1 Datos para el cálculo de esfuerzos básicos, recomendadas por las normas inglesas y americanas (ref.2)

Al determinar los esfuerzos permisibles de cada grupo de maderas incluido en la Norma DGN C18-1946, se se supusieron las condiciones más desfavorables para los defectos considerados en cada grupo dándole valores extremos a los defectos. - Asimismo, se consideraron especies de baja densidad a fin de aplicar los esfuerzos permisibles directamente a todas las especies, ya que en la práctica es frecuente carecer de información sobre la especie de la madera adquirida para determinado propósito y que aún en el caso de conocer la especie no suele contar se con datos adecuados sobre sus propiedades mecánicas; cabe señalar que las maderas extremadamente livianas ($\delta^4 \neq 0.35$) como la madera de ceiba y la madera de balsa, que no son maderas estructurales, quedan excluidas de lo anterior, es decir, los esfuerzos permisibles que se proponen son aplicables a cualquier especie de madera siempre y cuando su densidad relativa sea superior a 0.35. Por otra parte, si se demuestra que el peso específico de determinada especie es mayor que 0.40, se pueden incrementar los esfuerzos permisibles y el módulo de elasticidad en los porcentajes siguientes, por cada 0.01 en exceso de 0.40: para flexión, tensión, compresión paralela y cortante en un 3%, para compresión perpendicular en un 6%, para el módulo de elasticidad en un 1.5%; así por ejemplo, si conocemos que la densidad relativa de determinada especie es de $\delta^4 = 0.47$ se procederá a incrementar los esfuerzos permisibles de la siguiente manera:

- Para flexión, tensión y compresión paralela
7 x 3=21%
- Para compresión perpendicular
7 x 6=42%
- Para módulo de elasticidad
7 x 1.5=10.5%

Los esfuerzos permisibles para la madera clasificada según la Norma DGN C-18-1946 se dan en la tabla 5.2.

Para obtener los esfuerzos permisibles para madera clasificada según las Normas Técnicas Complementarias se sigue el siguiente criterio: los esfuerzos básicos se multiplican por el porcentaje de la resistencia correspondiente a cada calidad estructural, por ejemplo, los esfuerzos básicos se multiplican por

0.75 para obtener los esfuerzos correspondientes al grupo V-75, así, los esfuerzos permisibles para madera clasificada según las Normas Técnicas Complementarias se dan en la tabla 5.3.

Los esfuerzos permisibles que se muestran en la tabla 5.3 sólo serán aplicables a especies de madera cuya densidad relativa sea mayor ó igual a 0.35, el criterio de incremento de esfuerzos permisibles, si se demuestra que la especie tiene una densidad relativa mayor a 0.40, es el mismo que se aplica para la clasificación según DGN C-18-1946.

La influencia de la duración de la carga puede apreciarse en la fig.5.4 (ref.5) y de acuerdo con lo indicado en la gráfica mostrada en ésta figura parecería posible incrementar los esfuerzos permisibles para cargas de corta ó mediana duración (véase inciso II.4.2.1). La elección del factor de incremento adecuado no es fácil, sin embargo, las Normas Técnicas Complementarias permiten incrementar los esfuerzos permisibles en los porcentajes indicados en la tabla 5.4.

De acuerdo a los factores de la tabla 5.4, debe dimensionarse para la más desfavorable de las combinaciones anteriores, que será aquella que conduzca a una escuadría mayor, siguiendo el criterio que a continuación se da:

- Para cada combinación probable de cargas, calcúlese el cociente

$$\frac{\sum P_i}{K_i} \dots\dots\dots 5.4$$

donde

$\sum P_i$ = suma de las cargas de la combinación i

K_i = factor de incremento de esf. permisible, correspondiente a la combinación i .

La combinación más desfavorable es la correspondiente al cociente máximo.

En general, se presentan a continuación las consideraciones en cuanto al incremento ó decremento de los esfuerzos permisibles en condiciones de servicio y son, como se hizo mención, independientes de las normas que se adopten.

SOLICITACION	SELECTA	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
Tracción y tensión	80	60	30	20
Compresión paralela	70	50	25	17
Compresión perpendicular	14	14	9	7
Cortante paralelo	14	14	7	5
Módulo de Young (valor medio)	70,000	70,000	70,000	70,000
Módulo de Young (valor mínimo)	40,000	40,000	40,000	40,000

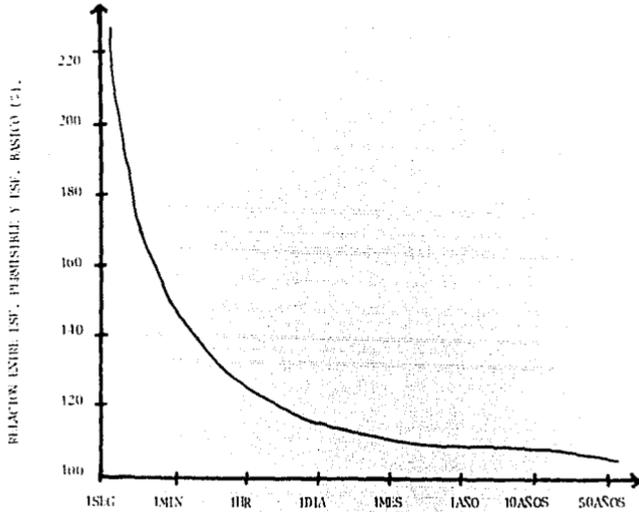
TABLA 5.2 Esfuerzos permisibles, condición verde,
 clasificación según DGN C-18-1946, --
 en kg/cm^2 (Ref.1).

SOLICITACION	V-75	V-65	V-50	V-40
Flexión y tensión	80	70	50	40
Compresión paralela	60	50	50	30
Compresión perpendicular	12	12	11	11
Cortante paralelo	11	9	7	6
Módulo de Young (valor medio)	70,000	70,000	70,000	70,000
Módulo de Young (valor mínimo)	40,000	40,000	40,000	40,000

**TABLA 5.3 Esfuerzos permisibles, condición verde,
 clasificación visual según las Normas
 Técnicas Complementarias, en kg/cm^2 (Ref.1).**

COMBINACION DE CARGA	FACTOR
Carga muerta	1.00
Carga muerta+carga viva	1.15
Carga muerta+carga viva+viento 6 sismo	1.50
Carga muerta+carga viva+impacto	2.00

TABLA 5.4 Factores por duración
de carga (Ref.2).



UNAM	ESTD. ACALLAS
TÍTULO PROFESIONAL	
Efecto duración carga	
PABLO GARCÍA G.	FIG. 2.4

- Contenido de humedad:

Si se trata con elementos estructurales en condición seca, los esfuerzos permisibles se obtendrán incrementando los proporcionados anteriormente empleando los siguientes porcentajes:

Flexión y tensión	10%
Compresión paralela	20%
Compresión perpendicular	50%

Cuando el elemento estructural se instale en condición verde cambiando en servicio a condición seca, ó viceversa, se diseñará basándose en esfuerzos permisibles finales de acuerdo con el contenido de humedad que tendrá en servicio.

Nótese que para esfuerzos cortantes no se permite incrementar, porque se considera que el secado puede producir raja duras en los extremos que afectan la resistencia a éste tipo de esfuerzo.

En cuanto al módulo de elasticidad, podemos decir que éste puede calcularse a partir de ensayos de flexión de piezas pequeñas libres de defectos. Los valores obtenidos no se afectan por factores de seguridad. Suelen determinarse dos valores (véase tabla 5.2 ó 5.3): un valor medio y un valor mínimo. El valor medio, que es la media aritmética de los ensayos realizados, puede utilizarse para el cálculo de deflexiones, a veces con ciertas restricciones que dependen de la posibilidad de que varios miembros actúen conjuntamente para soportar una carga dada. El valor mínimo es un valor tal que la probabilidad de que resulte un valor menor sea de 1 en 100. Se emplea en cálculos de esbeltez ó de estabilidad lateral, y según las Normas Técnicas Complementarias, para el cálculo de deflexiones de elementos aislados.

Se considera que los elementos resistentes que trabajan en conjunto, son aquellos que están espaciados a no más de 60cm (Ref.1), la razón de ésto es que para calcular deformaciones de un conjunto de elementos en las condiciones descritas es más representativo el valor medio del módulo de elasticidad; -- usar el mínimo sería conservador.

En cuanto al valor del módulo de elasticidad con respecto al contenido de humedad que ha de usarse en el diseño, se -

presentan las situaciones siguientes:

a) Si la madera se instala en condición verde y en servicio queda en condición seca, debe usarse el valor mínimo del módulo de elasticidad en condición verde.

b) Si la madera se instala en condición seca y así permanece después, puede usarse el valor mínimo en condición verde incrementado 10%. Nótese que éste incremento no es aplicable a madera en la situación del inciso (a), porque sus deformaciones son mayores que las que experimentaría si estuviera seca desde su instalación.

c) Si la madera en servicio queda en condición verde, sea que se instale en ésta condición ó en condición seca, debe usarse el valor mínimo en condición verde (tabla 5.2).

- Impregnación por presión y/o temperatura:

Los elementos impregnados por presión y/o temperatura, pierden resistencia, debido a las altas presiones, temperaturas y tiempos de tratamiento a que deben someterse para alcanzar la retención correcta de la substancia tóxica. Por lo tanto, existirá una reducción del 10% en los esfuerzos permisibles por el concepto anterior.

A continuación se presenta un ejemplo para reforzar lo anteriormente visto.

EJEMPLO 5.1

Obtener los esfuerzos permisibles para las vigas de un sistema de piso. Estarán espaciadas 50cm, se instalarán en condición verde y en servicio quedarán en condición seca. La madera está clasificada como V-50. Supóngase que la condición de carga que rige el diseño es carga muerta.

Por lo tanto, se presentan a continuación los esfuerzos permisibles por flexión, compresión perpendicular, cortante paralelo y el valor del módulo de elasticidad final.

- FLEXION

- Incrementos:

- a) Duración de carga. No existe incremento (tabla 5.4)
- b) Por estar en condición seca en servicio, 10%.

- c) Por ser elementos próximos entre sí, que trabajan en conjunto, 20%.

$$1+0.10+0.20=1.30$$

Si el esfuerzo permisible para una madera de calidad V-50 en condición verde es de 50kg/cm^2 (tabla 5.3), entonces se tiene que

$$f_{bp}=50 \times 1.30=\underline{65\text{kg/cm}^2}$$

- COMPRESION PARALELA

- Incrementos:

- a) Por duración de carga, 0%.
- b) Por estar en condición seca en servicio, 50%.
- c) Por ser elementos próximos entre sí, 20%.

$$1+0.50+0.20=1.70$$

Según la tabla 5.3, para una madera V-50, el esfuerzo en condición verde es de 11kg/cm^2

$$f_{np}=11 \times 1.70=\underline{18.7\text{kg/cm}^2}$$

- CORTANTE PARALELO

- Incrementos:

- a) Por duración de carga, 0%.
- b) Por estar en condición seca en servicio, 0%.
- c) Por ser elementos próximos entre sí, 20%.

$$1+0.20=1.20$$

Para una madera V-50, según tabla 5.3, el esfuerzo en condición verde es de 7kg/cm^2

$$f_{vp}=7 \times 1.20=\underline{8.4\text{kg/cm}^2}$$

En cuanto al módulo de elasticidad, por tratarse de elementos próximos entre sí, se empleará el valor medio, así vemos que según la tabla 5.3 éste valor es de $E_{med}=70,000\text{kg/cm}^2$

Como se puede observar, se determinaron únicamente los esfuerzos permisibles por flexión, compresión paralela y cortante paralelo, sin embargo, se puede determinar también el esfuerzo - permisible por compresión perpendicular siguiendo el mismo criterio empleado en el ejemplo anterior.

V.2. - Miembros en tensión.

Los miembros en tensión se presentan principalmente en las armaduras de todo tipo en cuyo diseño es frecuente considerar que las barras que las integran están sometidas únicamente a cargas axiales. También son comunes en distintos tipos de contraventeo.

Como se señaló en el inciso II.3.1, la resistencia de la madera a tensiones perpendiculares a las fibras es considerablemente menor que su resistencia a tensiones paralelas a ellas. Por ello, los miembros de madera sujetos a tensión se detallan de manera que los esfuerzos sean paralelos a las fibras.

La fuerza de tensión de servicio que puede soportar un miembro de madera, se calcula por medio de la expresión:

$$T = A_n f_{tp} \dots\dots\dots 5.5$$

donde

T = es la tensión que puede soportar el miembro

A_n = es el área neta ó efectiva de la sección del miembro

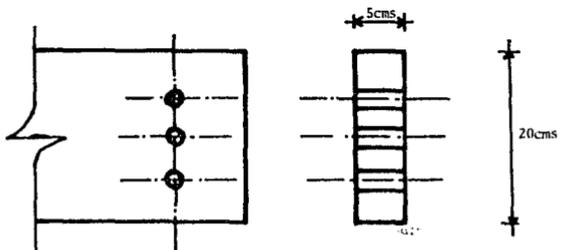
f_{tp} = es el esfuerzo permisible de tensión paralela a las fibras.

El área neta se define como la sección total menos las reducciones por las ranuras ó agujeros requeridos para alojar elementos de unión. La capacidad del miembro estará regida por la sección que tenga el área neta mínima.

EJEMPLO 5.2

Determinar la capacidad del miembro sometido a tensión según fig.5.5 de acuerdo con los datos siguientes:

- Madera de calidad V-50
- Densidad $\delta = 0.42$
- C.H. $\leq 18\%$ (en servicio)
- Combinación de carga = CM + CV + sismo
- Usar pernos de 1"



UNAM	EXEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Caracterfsticas geométricas - del elemento.	
PABLO GARCIA G.	FIG. 5.5

Lo que determina a continuación es el porcentaje del incremento del esfuerzo permisible según tabla 5.3:

- Incrementos

- a) Por ser $\gamma > 0.40$, $2 \times 3 \dots\dots\dots 6\%$
- b) Por condición seca $\dots\dots\dots 10\%$
- c) Por combinación de carga $\dots\dots\dots 50\%$ (tabla 5.4)

$$\Sigma = 66\%$$

El esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es de 50 kg/cm^2 , por lo que el esfuerzo permisible a tensión paralela a la fibra es de

$$f_{tp} = 50 \times 1.66 = \underline{83 \text{ kg/cm}^2}$$

Para determinar el área neta (A_n), calculamos primero el área a descontar de los pernos:

Diámetro de agujeros = diámetro perno + holgura (véase Ref.1, sección 5.4.1)

Diámetro de agujeros = $2.54 + 0.16 = 2.7 \text{ cm}$

Por tratarse de 3 pernos = $2.7 \times 3 = 8.1 \text{ cm}$

Multiplicado por el espesor del miembro, obtenemos el área de agujeros (A_a), así

$$A_a = \text{área de agujeros} = 8.1 \times 5 = 40.5 \text{ cm}^2$$

$$A_t = \text{área total} = 20 \times 5 = 100 \text{ cm}^2$$

$$A_n = A_t - A_a$$

$$A_n = 100 - 40.5 = \underline{59.5 \text{ cm}^2}$$

Finalmente, la capacidad en tensión del miembro es

$$T = A_n f_{tp} \text{ (según ec.5.5)}$$

$$T = 59.5 \times 83$$

$$\underline{T = 4.9 \text{ ton}}$$

V.3.- Miembros en compresión.

Los miembros estructurales de madera sometidos a compresión se presentan bajo la forma de columnas, miembros de armaduras y puntales. Como es sabido, los elementos estructurales bajo éste

tipo de esfuerzos en sentido perpendicular a las fibras tienen baja capacidad (inciso II.3.2), por lo tanto, se construyen de manera que las fibras queden paralelas a los esfuerzos de compresión.

Los miembros de madera sometidos a compresión pueden clasificarse en tres tipos:

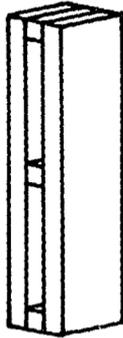
- a) Macizos
- b) De sección compuesta
- c) De elementos espaciados.

Las columnas ó miembros macizos están formados por una sola pieza. Los miembros de sección compuesta están formados por varias piezas ligadas entre sí por medio de clavos ó pernos. Los miembros espaciados están formados por dos ó más piezas, con los ejes longitudinales paralelos, ligados por empaques y clavos, tornillos ó pernos (véase fig.5.6).

Los miembros macizos son los más comúnmente usados en columnas de madera y en otras piezas sometidas a cargas axiales de compresión, sin embargo, cuando éstos no existen ó es difícil conseguir piezas macizas con medidas comerciales que suministren las escuadras necesarias, se recurre a los elementos compuestos ó espaciados.

Es raro el miembro estructural sometido a carga axial de compresión exclusivamente, ya que es difícil evitar alguna excentricidad por curvatura del eje debida a errores de fabricación ó efectos de acciones imprevistas en el análisis. Por ello, en la práctica se tiende a considerar una excentricidad mínima aún cuando el análisis de una estructura no indique la presencia de momentos, sin embargo, puede prescindirse de la excentricidad mínima en cálculos preliminares aproximados ó en el dimensionamiento de miembros de poca importancia.

A continuación se muestran los criterios de diseño para miembros de piezas macizas sometidos a compresión axial; para miembros compuestos ó espaciados recórrase a las referencias 1, 2, 5 y 8, donde se encontrará el criterio de diseño de ambos.



ELEMENTOS ESPACIADOS



MADEROS



SECCIÓN COMPUESTA.



UNAM	ENEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Tipos de elementos de madera -- sometidos a compresión.	
PABLO GARCÍA G.	FIG. 3.6

- Miembros macizos:

Las Normas Técnicas Complementarias clasifican dos categorías de elementos según lo susceptible que sean al pandeo: miembros largos y miembros cortos.

Se consideran miembros largos aquellos que fallan por inestabilidad, es decir, por pandeo. Se considera que un miembro es largo cuando

$$KL/d > \sqrt{0.3E/f_{cp}} \dots\dots\dots 5.6$$

donde

KL=es la longitud efectiva de la columna en el plano de flexión considerado.

d=dimensión transversal de la columna paralela a dicho plano.

E=módulo de elasticidad de la madera.

Fisicamente, la longitud efectiva es la distancia entre puntos de inflexión. En la fig.5.7 se dan los valores teóricos de K para algunas situaciones típicas, junto con los valores recomendados para el dimensionamiento práctico.

Si el miembro es largo, nuestro esfuerzo de diseño a compresión f_{cd} será

$$f_{cd} = 0.3E / (KL/b)^2 \dots\dots\dots 5.7$$

Por otro lado, se considera que una columna de madera es corta, es decir, que en ella se pueden despreciar los momentos causados por su propia deformación cuando

$$KL/d > \sqrt{0.3E/f_{cp}} \dots\dots\dots 5.8$$

si el miembro es corto, nuestro esfuerzo de diseño a compresión f_{cd} será

$$f_{cd} = f_{cp} \dots\dots\dots 5.9$$

independientemente de si se trata de columna larga ó corta, la carga máxima que puede soportar nuestro elemento es

$$P = Af_{cd} \dots\dots\dots 5.10$$

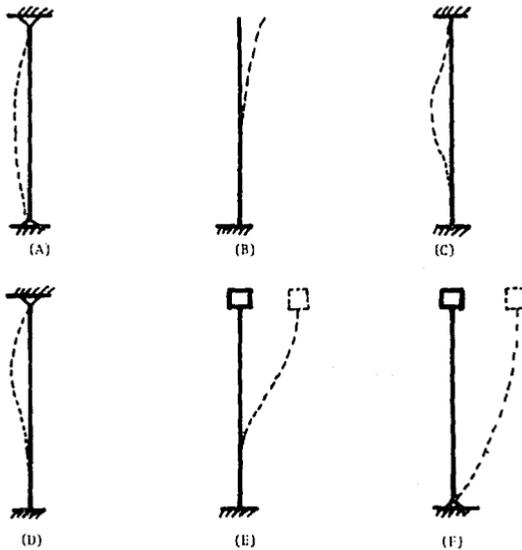
donde

P =carga máxima que soporta el elemento

A =área transversal de la sección

f_{cd} =esfuerzo de diseño a compresión.

Finalmente, el criterio de elegir entre el valor mínimo ó medio del módulo de elasticidad se basa en lo siguiente: si la falla del elemento no afecta la seguridad general de la estructura se toma el valor medio y viceversa, si la falla afecta la seguridad de la estructura se toma el valor mínimo.



CONDICION	VALOR TEORICO	VALOR PRACTICO
A	1,0	1,0
B	2,0	2,1
C	0,5	0,65
D	0,71	0,8
E	1,0	1,2
F	2,0	2,0

UNAM	UNEP ACHILAS
TESTES PRACTICOS	
Longitudes efectivas de columnas para situaciones tipicas.	
PABLO GARCIA G.	FIG. 5.7

EJEMPLO 5.3

Determinar la carga máxima que puede soportar el elemento mostrado en la fig. 5.8 de acuerdo con los datos siguientes:

- Madera de calidad V-65
- Densidad $\gamma = 0.51$
- C.H. en servicio = 42%
- Combinación de cargas, CM+CV
- Condición de apoyo (d) según fig. 5.7 para planos "x" e "y".

Determinaremos primero el esfuerzo permisible y el módulo de elasticidad

- Incrementos

- a) Por ser $\gamma > 0.40$: $11 \times 3 \dots\dots\dots 33\%$
- b) Por condición CH $> 18\%$ $\dots\dots\dots 0\%$
- c) Por condición de carga $\dots\dots\dots 15\%$

$$\Sigma = 48\%$$

el esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es de 50 kg/cm^2

$$f_{cp} = 50 \times 1.48 = 74 \text{ kg/cm}^2$$

suponiendo que la falla no afecta la seguridad general de la estructura, de la tabla 5.3

$$E_{med} = 70,000 \text{ kg/cm}^2$$

- Capacidad en compresión axial

Dirección sin arriostrar:

$$K = 0.80 \text{ (fig. 5.7)}$$

$$E = 70,000$$

$$L = 500$$

$$d = 15$$

$$f_{cp} = 74$$

$$KL/d = (0.8 \times 500) / 15 = 26.7 \quad ;$$

$$\sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{(0.3 \times 70,000) / 74} = 16.8$$

como $KL/d > \sqrt{0.3E/f_{cp}}$

nuestra columna, en esa dirección, la consideramos larga y según

la ecuación 5.7, determinaremos fcd

$$fcd = 0.3E / (KL/d)^2 = (0.3 \times 70,000) / ((0.8 \times 500) / 15)^2$$

$$fcd = 29.5 \text{ kg/cm}^2$$

si el área de la sección es $A = 15 \times 10 = 150 \text{ cm}^2$ la carga máxima en la dirección sin arristrar es

$$P = A fcd = 150 \times 29.5 = 4425 \text{ kg}$$

Dirección arriestrada:

$$K = 0.8$$

$$E = 70,000$$

$$L = 250$$

$$d = 10$$

$$fcp = 74$$

$$KL/d = (0.8 \times 250) / 10 = 20 \quad ; \quad \sqrt{0.3E/fcp} = 16.8$$

como

$$KL/d > \sqrt{0.3E/fcp}$$

nuestra columna, en esa dirección, la consideramos larga y según la ecuación 5.7 tenemos

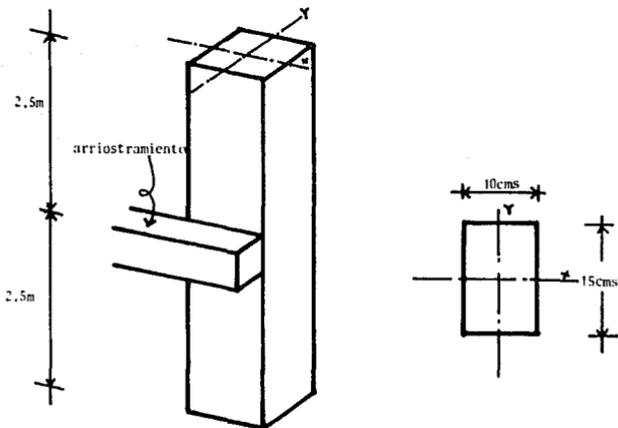
$$fcd = 0.3E / (KL/d)^2 = (0.3 \times 70,000) / (20)^2 = 52.5$$

si el área de la sección es $A = 150 \text{ cm}^2$,

$$P = A fcd = 150 \times 52.5 = 7875 \text{ kg}$$

Si aplicamos una carga $P = 7875 \text{ kg}$, la columna en dirección sin arristrar no la soportará, por lo tanto, la carga máxima que soporta nuestra columna es

$$P = 4425 \text{ kg}$$



UNAM	INEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Características geométricas del elemento	
PABLO GARCÍA G.	FIG. 5.8

V.4.- Miembros en flexión simple.

Los elementos estructurales que comúnmente se ven sujetos a flexión simple son las trabes y las vigas. Debido a la estructura y propiedades particulares de la madera, las vigas de este material se fabrican de manera que las fibras queden orientadas perpendicularmente a las fuerzas transversales que deben soportar, es decir, las fibras deben quedar paralelas al eje longitudinal de la viga. En estas condiciones la madera resiste acciones flexionantes con gran eficiencia.

A pesar de que el comportamiento de las vigas de madera no es rigurosamente elástico, se acepta la teoría convencional de flexión elástica según la cual los esfuerzos pueden calcularse -- por medio de la expresión

$$f = MY/I$$

donde

M = momento flexionante

Y = distancia del eje neutro a la fibra más ajejada, que para efectos prácticos es la que más nos interesa.

I = momento de inercia centroidal de la sección.

f = esfuerzo

Un concepto útil en relación con el dimensionamiento por flexión, es el módulo de sección S, que se define como la relación entre el momento de inercia centroidal y la distancia "Y" a las fibras extremas:

$$S = I/Y \dots\dots\dots 5.12$$

sustituyendo en la ecuación 5.11 obtenemos

$$f = M/S \dots\dots\dots 5.13$$

De acuerdo con la definición dada, el módulo de sección rectangular de ancho "b" y peralte "d" se obtiene como sigue:

$$S = I/Y$$

$$I = bd^3/12$$

$$Y=d/2$$

$$S=(bd^3/12)/(d/2)$$

$$S=bd^2/6 \dots\dots\dots 5.14$$

Los esfuerzos calculados con las fórmulas 5.11 ó 5.13 deben ser inferiores a los permisibles para flexión, corregidos por el factor de tamaño que a continuación se comenta.

- Factor de tamaño:

El factor C_f es un factor de tamaño que está asociado a la resistencia de elementos a flexión. En estudios experimentales (ref.14) se ha encontrado que la resistencia a flexión decrece al aumentar el peralte. Esta disminución se hace significativa a partir de peraltes del orden de 30cm.

Para tomar en cuenta éste defecto, se recomienda utilizar la siguiente expresión (ref.1):

$$C_f=0.81(d^2+922)/(d^2+568) \leq 1 \dots\dots 5.15$$

donde "d" es el peralte en cm y C_f es el factor de tamaño utilizado para disminuir el esfuerzo permisible de flexión. Para valores de "d" menores que 30cm se toma $C_f=1$.

El momento permisible en una viga en la que haya que considerar el efecto del tamaño, estará dado por la fórmula

$$M_{perm} = (C_f) (f_{bp}) (S) \dots\dots\dots 5.16$$

Hasta aquí se puede determinar el momento permisible de una pieza a flexión ó simplemente revisar una viga de acuerdo a las consideraciones planteadas anteriormente siempre y cuando existan soportes laterales en la cara de compresión de la viga; ahora bien, si la viga no cuenta con tal soporte, ésta tenderá a pandearse lateralmente provocando la falla a cargas menores que las correspondientes a la falla por flexión cuando existen apoyos laterales adecuados. Para tomar en cuenta el posible efecto del pandeo lateral, las Normas Técnicas Complementarias recomiendan que en lugar del esfuerzo permisible en flexión, se utilice en la fórmula 5.16 un esfuerzo de diseño a flexión f_{bd} , que se define de acuerdo con alguno de los casos indicados a continuación:

- a) Cuando $C_s \leq 10$

$f_{bd} = f_{bp}$	5.17
b) Cuando $10 < C_s \leq C_k$	
$f_{bd} = f_{bp}(1 - (1/3)(C_s/C_k)^4)$	5.18
c) Cuando $C_k < C_s$	
$f_{bd} = 0.4E/C_s^2$	5.19
donde	
$C_s = 1.4 \sqrt{dL/b^2}$	5.20
$C_k = \sqrt{3E/5f_{bp}}$	5.21

En las expresiones anteriores debe usarse el valor correspondiente del módulo de elasticidad, según inciso V.1.1.

V.4.1.- Fuerza cortante.

Aunque el momento flexionante ó la deflexión suelen ser los factores críticos en el dimensionamiento de vigas, pueden presentarse situaciones en que rija la fuerza cortante.

En un miembro sometido a cargas transversales, la fuerza cortante produce esfuerzos cortantes en plano perpendicular y paralelo al eje del miembro. Como se hizo mención en el inciso 11.3.4. la resistencia a esfuerzo cortante de la madera es considerablemente mayor en dirección transversal (cortante perpendicular a las fibras) a las fibras que paralelamente a ellas. Por ello, en elementos estructurales de madera de hecho no ocurren fallas por cortante en planos transversales a las fibras, sino que la falla que se origina bajo fuerza cortante elevada es por los esfuerzos cortantes paralelos a las fibras que induce la propia fuerza cortante. De aquí que en las tablas 5.2 y 5.3 sólo se considera el cortante paralelo a las fibras y no se menciona el cortante perpendicular a las mismas.

Así, los esfuerzos cortantes se revisan con la expresión:

$$v = VQ/Ib \dots\dots\dots 5.22$$

donde

V=fuerza cortante que actúa en una sección dada de la viga.

Q=momento estático con respecto al eje neutro del área de la sección arriba ó abajo del corte donde se desea determinar el esfuerzo cortante.

I=momento de inercia de la sección

b=ancho de la sección al nivel del corte considerado.

El esfuerzo cortante horizontal máximo para una sección rectangular se determina por medio de la expresión:

$$v_{m\acute{a}x} = 3V/2bd \dots\dots\dots 5.23$$

donde las literales que contiene la expresión tienen el mismo significado que en la ecuación 5.22.

Es frecuente que por razones funcionales sea necesario recortar los extremos de las vigas, de manera que quede reducido el peralte disponible en esta región, como se indica en la fig.5.9.-- Debido a las concentraciones de esfuerzos que se presentan en esta situación, es conveniente calcular los esfuerzos cortantes con un criterio conservador. Las Normas Técnicas Complementarias señalan que para tal efecto, dicho esfuerzo se determinará por medio de la siguiente expresión (ref.5):

$$v = (3V/2bd_1)(d/d_1) \dots\dots\dots 5.24$$

donde

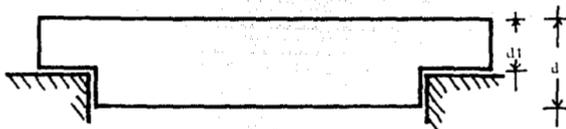
V=reacción en el apoyo

b=ancho de la viga

d₁=peralte sobre el recorte

v=esfuerzo cortante

d=peralte total.



UNAM	ENL. MALLAN
Tesis: 1901-13AM	
Viga con recorte en los extremos.	
PMLO GARCIA G.	FIG. 5.9

V.4.2- Deflexión.

La deflexión en vigas de madera puede determinarse por medio de las expresiones que proporciona la mecánica de materiales, esto implica:

- a) Que se considera válida la hipótesis de que las secciones planas antes de la flexión permanecen planas después de ella, y
- b) Que la deformación debida a cortante es despreciable (fig.5.10).

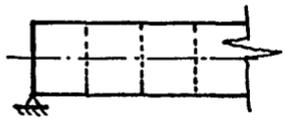
En realidad, en vigas de madera, las secciones planas se vuelven curvas debido a que los esfuerzos cortantes varían desde un máximo en el eje neutro hasta cero en las fibras extremas. Sin embargo, los errores que resultan de aceptar las hipótesis mencionadas son menores de aproximadamente 4% (ref.2), de manera que es razonable el empleo de las fórmulas usuales para la determinación de la deflexión por flexión.

Las Normas Técnicas Complementarias indican que para cálculos de deflexión deben usarse los valores mínimos del módulo de elasticidad.

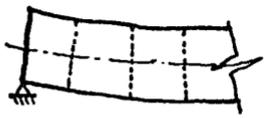
La referencia 10 (art.207,título IV) establece los siguientes límites para flechas:

- Para miembros que no afectan elementos no estructurales
 $\Delta < 0,5cm + L/240$
- Para miembros que afectan elementos estructurales
 $\Delta < 0,3cm + L/480$

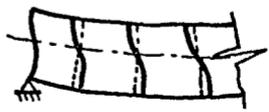
Los límites anteriores son aplicables para claros mayores ó iguales a 3,50mt; para claros inferiores a los 3,50mt las Normas Técnicas Complementarias proponen como límite cuatro milésimas del claro. Si la deformación puede afectar elementos no estructurales se recomienda que las deformaciones no excedan de tres milésimas del claro.



a) Viga antes de la aplicación de carga.



b) Condición suponiendo que las secciones planas permanecen planas.



c) Condición real en que las secciones se vuelven curvas debido al efecto de los esfuerzos cortantes horizontales.

UNAM	ENP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Deflexión de vigas.	
PABLO GARCIA C.	FIG. 5. II

- EJEMPLO 5.4

Determinar la carga por unidad de longitud (kg/m) que puede soportar la viga mostrada en la fig.5.11 si la sección de la misma es de 15 x 35, teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Madera de calidad V-75
- Densidad $\gamma = 0.46$
- Contenido de humedad en servicio = 12%
- Combinación de carga: CM+CV
- La viga no está sonortada lateralmente.

La solución del problema consiste en determinar la carga lineal máxima que soporta a flexión, a cortante paralelo y la carga lineal máxima que provoque una deflexión menor ó igual al permisible, eligiéndose la condición en donde se determine la carga lineal menor.

- FLEXION

- Incrementos:

- a) Por ser $\gamma > 0.40$, $6 \times 3 \dots \dots \dots 18\%$
- b) Por condición en servicio CH $< 18\%$ $\dots \dots \dots 10\%$
- c) Por condición de carga (CM+CV) $\dots \dots \dots 15\%$

$$\Sigma = 43\%$$

el esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es de 80 kg/cm^2

$$f_{cp} = 80 \times 1.43 = 114.4 \text{ kg/cm}^2$$

suponiendo que la falla afecta la seguridad general de la estructura, de la tabla 5.3

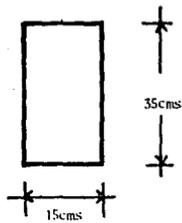
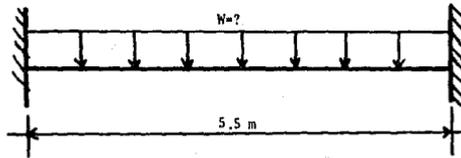
$$E_{\text{mín}} = 40,000 \text{ kg/cm}^2$$

pero como $\gamma > 0.40$ y de acuerdo al inciso V.1.1 el módulo se puede incrementar en un 50%

$$E = 40000 \times 1.50 = 60000 \text{ kg/cm}^2$$

suponiendo también que la viga se instala en condición seca permaneciendo como lo señala el inciso "b", se puede incrementar el valor en un 10%

$$E = 60000 \times 1.1 = 66000 \text{ kg/cm}^2$$



UNAM	INEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Características geométricas de la viga.	
PABLO GARCÍA G.	FIG. 5.11

Como la viga no está soportada lateralmente y según el inciso V.4. se procede a calcular los coeficientes C_s y C_k , así:

$$C_s = 1.4 \sqrt{dL/b^2} \dots \text{según ec.5.20}$$

$$C_s = 1.4 \sqrt{(35)(550)/15^2}$$

$$C_s = 13$$

$$C_k = \sqrt{3E/5f_{bp}} \dots \text{según ec.5.21}$$

$$C_k = \sqrt{3(66000)/5(114.4)}$$

$$C_k = 19$$

según lo anterior, estamos en la condición

$$10 < C_s < C_k$$

por lo tanto, el esfuerzo de diseño a flexión se determina según la ec.5.18 como sigue

$$f_{bd} = f_{bp} (1 - (1/3)(C_s/C_k)^4)$$

sustituyendo valores

$$f_{bd} = 106 \text{ kg/cm}^2$$

como $d = 30 \text{ cm}$, determinamos el factor de tamaño según la ec.5.15

$$C_F = 0.81(d^2 + 922)/(d^2 + 568)$$

sustituyendo valores

$$C_F = 0.97$$

Para determinar el momento permisible, nos hace falta calcular el módulo de sección, así:

$$S = bd^2/6 \dots \text{según la ec.5.14}$$

$$S = (15)(35^2)/6$$

$$S = 3062.5 \text{ cm}^3$$

De acuerdo con la expresión 5.16, tenemos que:

$$M_{perm} = (C_F)(f_{bd})(S)$$

$$M_{perm} = (0.97)(106)(3062.5)$$

$$M_{perm} = 314,886.25 \text{ kg-cm}$$

Para determinar el momento máximo de una viga empotrada se tiene que

$$M_{\max} = wL^2/12$$

para asegurar que el momento máximo no sobrepase al permisible - igualamos éstos, obteniendo así:

$$3.14 = w(5.5)^2/12$$

despejando "w" tenemos

$$w = (12)(3.14)/(5.5)^2$$

$$w = \underline{1.24 \text{ ton-m}}$$

- CORTANTE PARALELO

- Incrementos:

- a) Por ser $\delta > 0.40$, $6 \times 3 \dots\dots\dots 18\%$
- b) Por condición en servicio $CH < 18\%$ $\dots\dots\dots 0\%$
- c) Por condición de carga $\dots\dots\dots 15\%$

$$\Sigma = 33\%$$

el esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es de 11 kg/cm^2

$$f_{vp} = 11 \times 1.33 = \underline{14.6 \text{ kg/cm}^2}$$

de la ecuación 5.23 tenemos que

$$v_{\max} = 3V/2bd$$

si se desea que el esfuerzo cortante paralelo máximo no sobrepase al permisible

$$v_{\max} = f_{vp} = 3V/2bd$$

despejando V tenemos

$$V = 2bdf_{vp}/3$$

$$V = (2)(15)(35)(14.6)/3$$

$$V = \underline{5.11 \text{ ton}}$$

Por otro lado, el cortante máximo para una viga empotrada se puede calcular con

$$V = wL/2$$

haciendo $V=5.11\text{ton}$, se tiene

$$5.11=5.5w/2$$

$$w=2(5.11)/5.5$$

$$w=1.85\text{ton-m}$$

- DEFLEXION

La deflexión máxima que se presenta en una viga como -
la mostrada en la fig.5.11, es de

$$\Delta m_{\text{áx}}=wL^4/384EI$$

donde

$$I=bd^3/12=15(35)^3/12$$

$$I=53,594\text{cm}^4$$

Para efectos de determinar la deflexión se utiliza el
valor mínimo del módulo de elasticidad presentado en la tabla 5.3

$$E=40,000\text{kg/cm}^2$$

Si $L=5.5\text{mt}$

$$L^4=9.15 \times 10^{10}\text{cm}$$

así

$$\Delta m_{\text{áx}}=9.15 \times 10^{10}/384(40,000)(53594)$$

$$\Delta m_{\text{áx}}=0.11w$$

La deflexión permisible que nos marca el reglamento, -
considerando que tenemos un claro mayor de 3.5mt y suponiendo --
que se trata de un miembro que afecta a un elemento no estructu-
ral

$$\Delta m_{\text{áx}}=0.3+L/480$$

$$\Delta m_{\text{áx}}=0.3+550/480$$

$$\Delta m_{\text{áx}}=1.44\text{cm}$$

igualando la deflexión máxima con la permisible, tenemos que:

$$1.44=0.11w$$

$$w=13.1\text{kg/cm}=1.3\text{ton/m}$$

Por lo tanto, tenemos que las cargas lineales máximas por flexión, cortante y deflexión son, respectivamente

$$w=1.24$$

$$w=1.85$$

$$w=1.30$$

Vemos que la condición más crítica es la flexión, por lo tanto, la carga lineal que puede soportar la viga es

$$\underline{w=1.24\text{ton/m}}$$

V.5.- Miembros en flexión biaxial.

En los largueros de techos inclinados, la dirección de la carga no coincide con la de ninguno de los ejes principales ó ejes de simetría. Los esfuerzos máximos que se presentan en las fibras más alejadas pueden calcularse por medio de la expresión:

$$f_b = (M_x/S_x) + (M_y/S_y) \dots\dots\dots 5.25$$

donde M_x y M_y son las componentes de los momentos con respecto a los ejes "xx" y "yy", y S_x y S_y son los módulos de sección correspondientes (fig.5.12).

En cuanto a la deflexión, ésta podemos calcularla por medio de la expresión:

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \dots\dots\dots 5.26$$

donde

$\Delta x, \Delta y$ = deflexiones con respecto a los ejes "xx" y "yy" respectivamente.

El criterio para determinar el esfuerzo cortante del elemento en flexión biaxial es el mismo que se utiliza para la obtención de la deflexión, es decir:

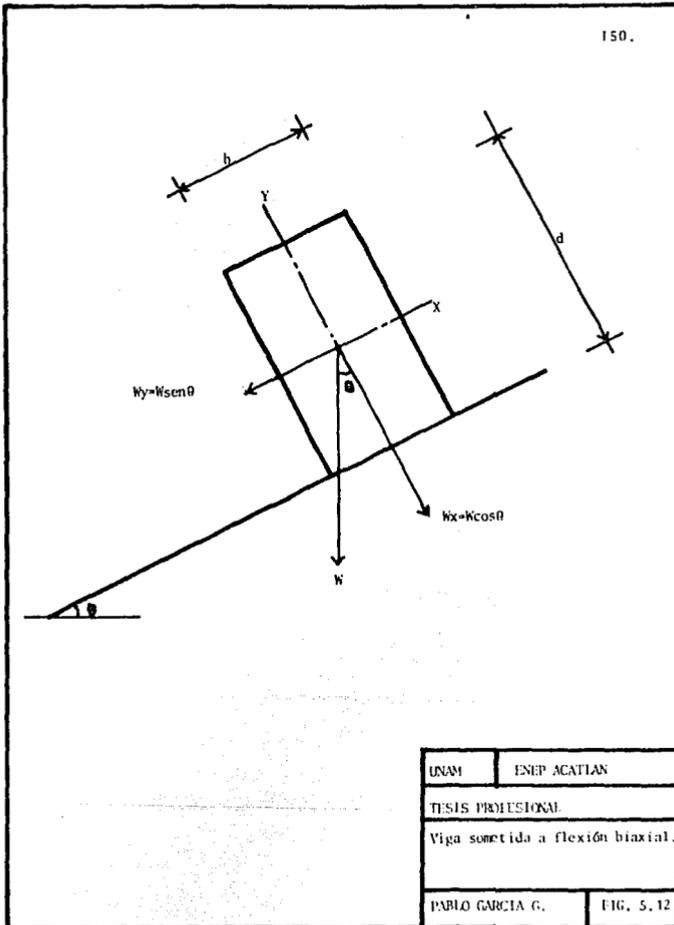
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \dots\dots\dots 5.27$$

donde

v_x, v_y = esfuerzos cortantes con respecto a los ejes "xx" y "yy" respectivamente.

Cuando la cubierta es lo suficientemente rígida y las uniones entre los diversos elementos son adecuadas basta considerar las componentes de las cargas normales a los apoyos, las componentes paralelas son resistidas por la propia cubierta. Por otro lado, si no existe tal condición, se calcularán los momentos con respecto a cada eje, sus módulos de sección por cada eje siguiendo el criterio de obtención expuesto en el inciso V.4.

En el siguiente ejemplo se podrá visualizar mejor el concepto del presente inciso.



- EJEMPLO 5.5

Determinar si la vigueta de dimensiones 15 x 20cm soporta las cargas según se muestran en la fig.5.13, de acuerdo a los siguientes datos:

- Madera de calidad V-65
- Densidad $\delta = 0.50$
- C.H. en servicio = 15%
- Combinación de carga: CM+CV
- La cubierta no es lo suficientemente rígida .

A continuación se presenta la obtención (como se ha venido haciendo) de los esfuerzos permisibles a flexión y cortante así como también de la deflexión permisible para que posteriormente se realiza la comparación correspondiente y definir así si la vigueta soporta adecuadamente la carga que recibe de la cubierta y carga viva así como también de su peso propio.

- Esfuerzo permisible a flexión:

Incrementos:

- a) Por ser $\delta > 0.40$: 10 x 3 30%
- b) Por condición de serv. CH < 18% 10%
- c) Por condición de carga 15%

$$\Sigma = 55\%$$

el esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es 70 kg/cm^2

$$f_{bp} = 70 \times 1.55 = 109 \text{ kg/cm}^2$$

La falla de la vigueta no afecta la seguridad general de la estructura, de la tabla 5.3

$$E_{med} = 70,000 \text{ kg/cm}^2$$

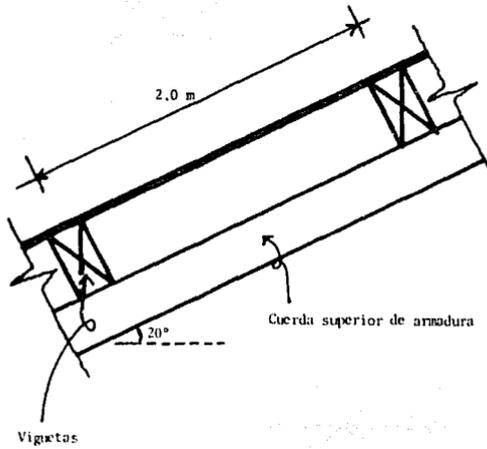
por otra parte, suponiendo que la vigueta se instala en condición verde, del inciso V.1.1. tenemos que

$$E_{min} = 40,000 \text{ kg/cm}^2$$

seleccionamos el valor más conservador que corresponde a

$$E_{min} = 40,000 \text{ kg/cm}^2$$

pero como $\delta > 0.40$ y de acuerdo al inciso V.1.1, le módulo se puede incrementar en un 50%, por lo tanto $E = 40000 \times 1.5 = 60000 \text{ kg/cm}^2$.



UNAM	ENEP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Condiciones geométricas de la viga.	
PABLO GARCIA G.	FIG. 5.13

- Esfuerzo permisible a cortante:

Incrementos:

- a) Por ser $\delta > 0.40$: $10 \times 3 \dots\dots\dots 30\%$
 b) Por condición de serv. CH $< 18\%$ $\dots\dots\dots 0\%$
 c) Por condición de carga $\dots\dots\dots 15\%$

$$\Sigma = 45\%$$

El esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es 9 kg/cm^2

$$f_{vp} = 9 \times 1.45 = 13 \text{ kg/cm}^2$$

- Deflexión permisible:

Como las viguetas no están trabajando en conjunto, ya que su distancia entre sí es mayor de 60cm, el módulo de elasticidad para determinar la deflexión será

$$E_{mfn} = 40,000 \text{ kg/cm}^2$$

La deflexión máxima que marca el Reglamento en su art. 207, título IV, por tener un claro menor a los 3.5m es de

$$0.004L, \text{ si } L = 300 \text{ cm entonces } \Delta p = 1.2 \text{ cm.}$$

Resumiendo:

Flexión

$$f_{bp} = 109 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 60,000 \text{ kg/cm}^2$$

Cortante

$$f_{vp} = 13 \text{ kg/cm}^2$$

Deflexión

$$\Delta p = 1.2 \text{ cm}$$

$$E = 40,000 \text{ kg/cm}^2.$$

Como $\delta = 0.50$, entonces el peso de la vigueta será de 500 kg/m^3

así, la carga muerta del sistema que actúa sobre la vigueta será de

CM = peso vigueta + peso cubierta

$$\text{peso vigueta} = 500 \times 0.15 \times 0.20 = 15 \text{ kg/m}$$

$$\text{peso cubierta} = 15 \times 2 = 30 \text{ kg/m}$$

por lo tanto, $CM=15+30=45\text{kg/m}$

La carga viva, según art.227 de la ref.10 es de

$$CV=30\text{kg/cm}^2$$

$$CV=30 \times 2=60\text{kg/m}$$

Finalmente, la carga lineal que actúa sobre la viga es de

$$w=45+60=105\text{kg/m}$$

Las componentes de la carga lineal son :

$$wx=105\cos 30^\circ=91\text{kg/m}$$

$$wy=105\sin 30^\circ=53\text{kg/m}$$

El esfuerzo máximo debido a flexión es:

- Momentos

$$Mx=(wxL^2)/8=91(3^2)/8=10,240\text{kg-cm}$$

$$My=(wyL^2)/8=53(3^2)/8=5,960\text{kg-cm}$$

- Módulos de sección

$$Sx=bd^2/6=15(20^2)/6=1000\text{cm}^3$$

$$Sy=bd^2/6=20(15^2)/6=750\text{cm}^3$$

el esfuerzo, según ec.5.25 es

$$fb=(Mx/Sx)+(My/Sy)$$

$$fb=(10240/1000)+(5960/750)=18.2\text{kg/cm}^2.$$

ya sea en el sentido "x" o "y" nos resulta que el coeficiente $C_s < 10$, por lo tanto

$$fbd=fbp=109\text{kg/cm}^2$$

así

$$fb < fbd.$$

La revisión por cortante se lleva a cabo determinando el cortante paralelo máximo con respecto a cada eje y se aplica la ec.5.27; el cortante máximo con respecto al eje "x" nos resulta, según 5.23

$$vx=3Vx/2bd$$

donde

$$V_x = w_x L / 2 = 91(3) / 2 = 136.5 \text{ kg}$$

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$d = 20 \text{ cm}$$

sustituyendo

$$V_x = (3)(136.5) / (2)(15)(20) = \underline{0.70 \text{ kg/cm}^2}.$$

Con respecto al eje "y" tenemos

$$v_x = 3(53) / (2)(20)(15) = \underline{0.30 \text{ kg/cm}^2}.$$

aplicando la ec. 5.27

$$v = \sqrt{0.3^2 + 0.7^2}$$

$$v = 0.80 \text{ kg/cm}^2 < f_{vp}$$

Por último, la revisión por deflexión se lleva a cabo como en el caso anterior; con respecto al eje "x" tenemos

$$\Delta_x = 5w_x L^4 / 384 E I_x$$

$$I_x = (15)(20^3) / 12$$

$$I_x = 10,000 \text{ cm}^4$$

sustituyendo valores

$$\Delta_x = (5)(0.91)(300^4) / 384(40000)(10000) = \underline{0.2 \text{ cm}}.$$

análogamente

$$\Delta_y = (5)(0.53)(300^4) / 384(40000)(5625) = \underline{0.25 \text{ cm}}$$

aplicando la ec. 5.26 tenemos que

$$\Delta = \sqrt{0.2^2 + 0.25^2}$$

$$\Delta = 0.32 < \Delta_p.$$

Como se podrá observar, nuestra sección está sobrada, por lo que se puede realizar una disminución de la sección de la pieza, incrementar la distancia entre viguetas ó bien, utilizar una madera de menor calidad..

V.6. - Flexotensión paralela a las fibras.

En miembros de sección uniforme sometidos a una carga axial de tensión y a una carga transversal como los utilizados frecuentemente en armaduras, los esfuerzos máximos se presentan en la sección donde el momento sea máximo.

En general, una pieza sometida a flexotensión implica que sus condiciones de trabajo son como los mostrados en la figura 5.14.

La ecuación a emplear debe ser tal que incluya el esfuerzo a tensión debida a la carga axial y el esfuerzo a tensión debida a la flexión, así, el esfuerzo debido a la fuerza axial a tensión es, según 5.5

$$f_t = T/An \leq f_{tp}$$

y el esfuerzo a tensión debido a flexión es, según 5.13

$$f_b = M/S \leq f_{bp}$$

haciendo suma de esfuerzos, tenemos que:

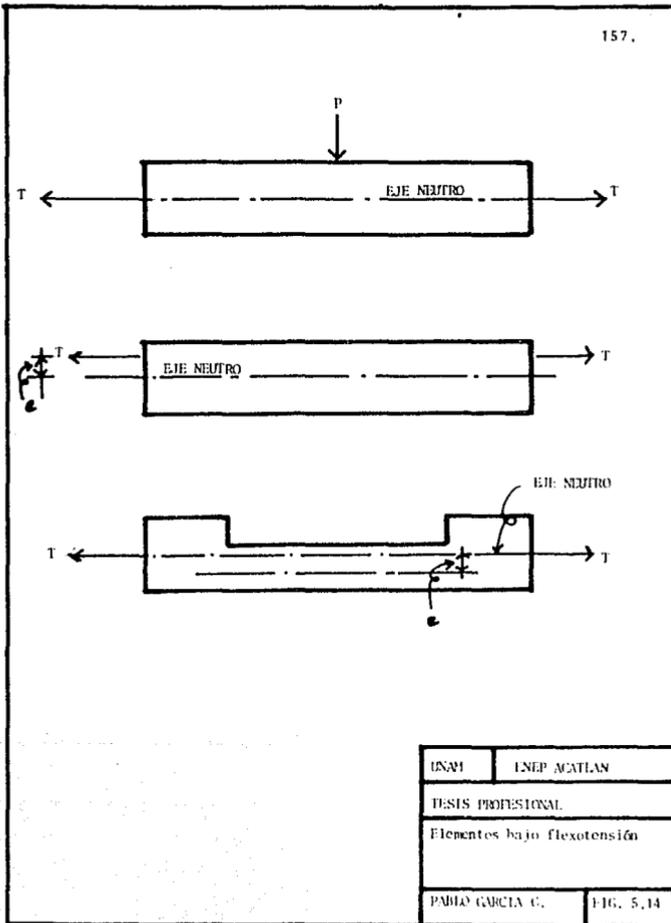
$$f_t + f_b = f_p \dots\dots\dots 5.28$$

dividiendo la expresión 5.28 entre el esfuerzo permisible respectivo a ambos miembros se nos presenta lo siguiente:

$$(f_t/f_{tp}) + (f_b/f_{bp}) = 1 \dots\dots\dots 5.29$$

donde

$$\begin{aligned} f_t &= T/An \\ f_{tp} &= f_{tn} \\ f_b &= M/S \\ f_{bp} &= f_{bd}C_f \end{aligned}$$



El esfuerzo a flexión permisible (fbp) se calcula --- considerando el pandeo lateral y el factor de tamaño (Cf) como - se determinó en el inciso V.4. Sustituyendo los términos anterior es en la ecuación 5.29, obtenemos:

$$\left(\frac{T}{An}\right)/\left(\frac{ftp}{f}\right) + \left(\frac{M}{S}\right)/\left(\frac{fbp}{Cf}\right) \leq 1 \dots\dots\dots 5.30$$

las literales utilizadas en ésta ecuación fueron definidas en incisos anteriores.

EJEMPLO 5.6

Revisar la viga de la figura 5.15 sometida a flexotensión considerando que:

- Madera de calidad V-50
- Densidad $\rho = 0.37$
- Contenido de humedad CH=40%
- Combinación de carga: CM+CV+viento.

De acuerdo con lo establecido en la ecuación 5.30, se determinan a continuación los incrementos a los esfuerzos indicados en la tabla 5.3 teniendo en cuenta que los esfuerzos a flexión y tensión son iguales, así:

ESFUERZOS PERMISIBLES A FLEXION Y TENSION

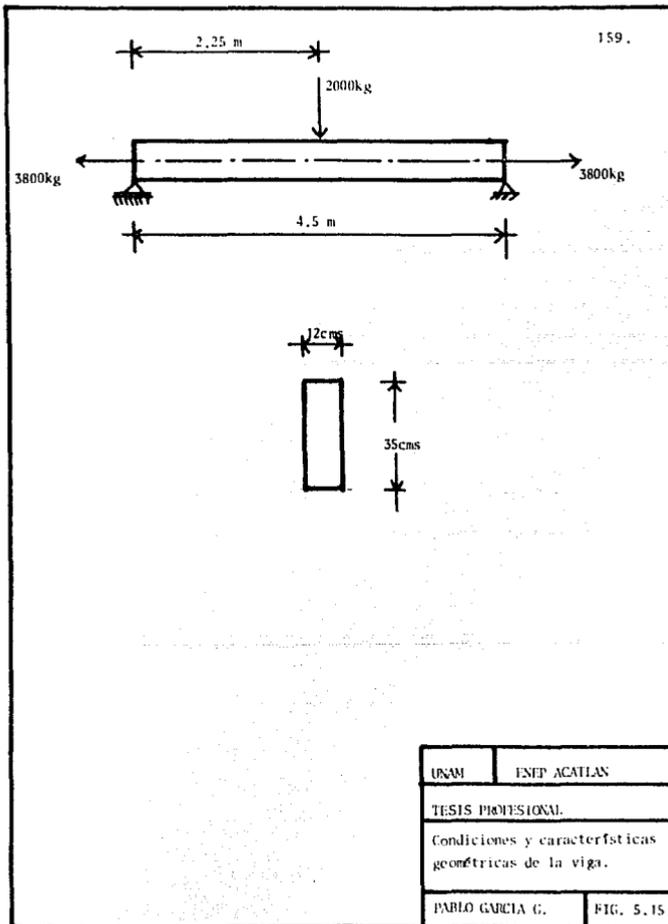
Incrementos:

- a) Por ser $\rho < 0.40$ 0%
- b) Por condición en servicio CH > 18% 0%
- c) Por condición de carga 50%

$$\Sigma = 50\%$$

el esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es 50 kg/cm^2

$$ftp = fbp = 50 \times 1.50 = \underline{75 \text{ kg/cm}^2}$$



Suponiendo que la falla de la viga no afecta la seguridad general de la estructura, de la tabla 5.3

$$E_{med} = 70,000 \text{ kg/cm}^2$$

suponiendo también que la viga se instala en condición seca quedando finalmente en condición verde, el valor del módulo será:

$$E_{min} = 40,000 \text{ kg/cm}^2$$

seleccionamos el valor más conservador que corresponde a

$$E = 40,000 \text{ kg/cm}^2$$

Se permitiría un incremento al módulo de elasticidad si la madera tuviera una densidad $\delta > 0.40$.

Revisando la ecuación 5.30, tenemos

$$\left(\frac{T}{An} \right) / (f_{tp}) + \left(\frac{M}{S} \right) / (f_{bd} C_f) \leq 1$$

$$T/An = (3800/35 \times 12) = 9 \text{ kg/cm}^2$$

$$M = PL/4 = (2000 \times 450)/4 = 225000 \text{ kg-cm}$$

$$S = bd^2/6 = (12 \times 35^2)/6 = 2450 \text{ cm}^3$$

$$M/S = (225000)/(2450) = 92 \text{ kg/cm}^2$$

por ser $d > 30 \text{ cm}$, según 5.15

$$C_f = 0.81(d^2 + 922)/(d^2 + 568) = 0.81(35^2 + 922)/(35^2 + 568) = 0.96$$

Para determinar f_{bd} , suponiendo que no existe restricción al pandeo lateral, hacemos:

$$C_s = 1.4 \sqrt{dL/b^2} = 1.4 \sqrt{(35 \times 450)/12^2} = 15$$

$$C_k = \sqrt{3E/5f_{bp}} = \sqrt{(3 \times 40000)/(5 \times 75)} = 18$$

como $10 < C_s < C_k$, aplicamos la ecuación 5.18

$$f_{bd} = f_{bp} \left(1 - \frac{1}{3}\right) \left(\frac{C_s}{C_k}\right)^4$$

$$f_{bd} = 75 \left(1 - \frac{1}{3}\right) \left(\frac{15}{18}\right)^4$$

$$\underline{f_{bd} = 63 \text{ kg/cm}^2}$$

sustituyendo en la ecuación 5.30

$$(9/75) + (92/63 \times 0.96) = 1.64 > 1$$

Vemos claramente que nuestra viga no soporta las cargas que está recibiendo, por lo tanto, una alternativa de solución es incrementar las dimensiones de la sección, así también se observa que la condición en flexión es crítica. Probemos con una sección de 18 x 50cm:

$$T/A_n = (3800)/(50 \times 18) = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$M = 225000 \text{ kg-cm}$$

$$S = (18 \times 50^2)/6 = 7500 \text{ cm}^3$$

$$M/S = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_f = 0.81(50^2 + 922)/(50^2 + 568) = 0.90$$

$$C_s = 1.4 \sqrt{(50 - x - 450)/18^2} = 12$$

$$C_k = 18.$$

$$f_{bd} = 75 \left(1 - \frac{1}{3}\right) \left(\frac{12}{18}\right)^4 = 70 \text{ kg/cm}^2$$

finalmente

$$(4/75) + (30/70 \times 0.90) = 0.55 < 1$$

Se observa que la sección propuesta de 18 x 50 está sobrada por lo que hace falta probar con otra sección. Si somos un poco observadores, la condición a flexión es crítica y nuestro factor de tamaño C_f no varía mucho en cada iteración; podemos por lo anterior suponer que:

$$C_f = 0.92 \text{ (valor elegido arbitrariamente)}$$

$$M/S = f_b d C_f$$

$$C_f = 0.81(d^2 + 922) / (d^2 + 568) = 0.92$$

$$0.81d^2 + 746.82 = 0.92d^2 + 522.56$$

$$224.26 = 0.11d^2$$

$$d = 45$$

conservando la misma relación de ancho-peralte

$$b = 16$$

$$S = (16 \times 45^2) / 6 = 5400 \text{ cm}^3$$

$$M/S = 42 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_s = 1.4 \sqrt{(45 \times 450) / 16^2} = 12.50$$

$$C_k = 18$$

$$f_b d = 69 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_b d C_f = 63.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$T/An = (3800) / (45 \times 16) = 5.3$$

sustituyendo valores, resulta lo siguiente:

$$(5.3 / 75) + (42 / 63.6) = 0.73 < 1$$

Aunque todavía está sobrada la sección, podemos decir que una posible sección que soporta las cargas de la figura 5.14 es de 16 x 45cm. La revisión por cortante y deflexión se determina de la misma forma que se ha venido empleando en ejercicios anteriores.

V.7.- Flexocompresión paralela a las fibras.

Los miembros de madera sometidos a flexocompresión son muy frecuentes: columnas con cargas excéntricas ó expuestas a cargas transversales, algunos miembros de armaduras que además de soportar una fuerza axial de compresión están sujetos a alguna carga transversal ó al efecto de alguna excentricidad debida a los detalles de conexión.

De una manera análoga a la descrita en el inciso V.6 - podemos determinar una expresión que nos permita revisar un miembro sometido a este tipo de acción.

Haciendo suma de esfuerzos, obtenemos

$$fc + fp = fp \dots\dots\dots 5.31$$

dividiendo la ecuación 5.31 entre el esfuerzo permisible de compresión y flexión, resulta:

$$(fc/fcp) + (fb/fbn) = 1 \dots\dots\dots 5.32$$

la expresión 5.32 es útil para cálculos preliminares (sin considerar efectos de esbeltez), sin embargo, para una revisión final es necesario involucrar el cálculo de los efectos de esbeltez, por lo que:

$$((P/An)/(fcd)) + ((M/S) + (P/An)(6e_p)/(fbdCf)) \leq 1 \dots 5.33$$

donde:

P/An =esfuerzo debido a la carga axial

fcd =esfuerzo de diseño en compresión que se determina observando las restricciones contenidas en el inciso V.3.

M/S =esfuerzo debido a flexión

$(P/An)(6e\beta/de)$ =esfuerzo debido a la excentricidad. En esta expresión "e" es la excentricidad, "de" es la dirección de la excentricidad "e". Se recomienda que se considere siempre la siguiente excentricidad

$$emfn=0.10(b^2/d) \dots\dots\dots 5.34$$

Si "M" y "e" son nulos, el miembro debe revisarse con esta excentricidad en ambos planos de simetría.

" β " es el factor de amplificación que depende de la relación de esbeltez, es decir, se tomará igual a 1.25 para miembros largos y de 1.0 para miembros cortos (ref.5).

fcd =esfuerzo de diseño en flexión que se obtiene en la forma ya conocida.

Cf =factor de tamaño (véase expresión 5.15)

En realidad, para revisar a un elemento sometido a flexotensión ó a flexocompresión empleamos expresiones más completas de las vistas en los incisos V.2, V.3 y V.4, pero debe de hacerse notar que son una combinación de éstas.

EJEMPLO 5.7:

Una columna con ménsula forma parte de una determinada estructura y está sujeta a las cargas que se muestran en la figura 5.16, si se propone una sección de 15 x 15, determinar si dicha sección soporta la condición de carga a la que está expuesta. Considere que:

- Madera de calidad V-65
- Densidad $\gamma = 0.41$
- Contenido de humedad en servicio CH=16%
- Se instala en condición seca
- Combinación de carga: CM+CV
- La columna trabaja en conjunto con otras columnas a una distancia de 60cm.

Como puede observarse en la fig.5.16 y si queremos revisar nuestra columna rigurosamente habría que revisarla con respecto al eje "y" y "x", sin embargo, la situación más crítica se presenta en la dirección del eje "x" por existir ahí un momento producido por la carga de 700kg con su excentricidad de 35cm y otro momento producido por la excentricidad mínima, en cambio, con respecto a la dirección "y" sólo existe esta última condición. Por lo tanto, todos los cálculos que se realicen serán en la dirección "x".

- Esfuerzo permisible a flexión:

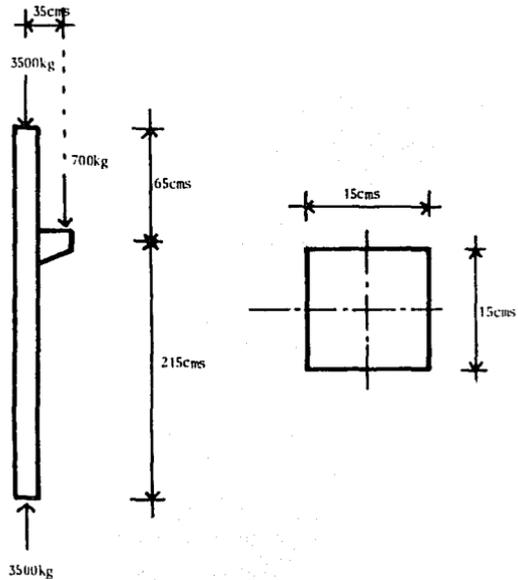
Incrementos:

- a) Por ser $\gamma > 0.40: 1 \times 3 \dots\dots\dots 3\%$
- b) Por condición en servicio CH < 18% 10%
- c) Por condición de carga 15%
- d) Por tratarse de elementos que trabajan en conjunto 20%

$$\Sigma = 48\%$$

El esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es de 70 kg/cm^2

$$f_{bp} = 70 \times 1.48 = \underline{103.6 \text{ kg/cm}^2}$$



UNAM	UNEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Condiciones y características geométricas de la columna.	
PABLO GARCÍA C.	FIG. 5.16

Como el elemento se instala en condición seca y permanece en servicio en la misma condición

$$E=40,000\text{kg/cm}^2 \times 1.1=\underline{44,000\text{kg/cm}^2}$$

por otro lado, la columna trabaja en conjunto, por lo tanto, según tabla 5.3

$$E_{med}=70,000\text{kg/cm}^2$$

suponiendo que la falla de la columna afecta la seguridad general de la estructura

$$E_{mfn}=40,000\text{kg/cm}^2$$

seleccionando el valor más conservador, tenemos que

$$E=40,000\text{kg/cm}^2$$

sin embargo, como $\delta > 0.40$ se permite un incremento del 50%, así

$$E=40,000 \times 1.50=\underline{60,000\text{kg/cm}^2}$$

- Esfuerzo permisible a compresión:

Incrementos:

- a) Por ser $\delta > 0.40: 1 \times 3 \dots\dots\dots 3\%$
- b) Por condición en servicio $CH < 18\% \dots\dots\dots 20\%$
- c) Por condición de carga $\dots\dots\dots 15\%$
- d) Por tratarse de elementos que trabajan en conjunto $\dots\dots\dots 20\%$

$$\Sigma = 58\%$$

el esfuerzo en condición verde según tabla 5.3 es 50kg/cm^2

$$f_{cp}=50 \times 1.58=\underline{79\text{kg/cm}^2}$$

los elementos mecánicos de la columna son (véase fig.5.17)

$$M_0=700 \times 35=24,500\text{kg-cm}$$

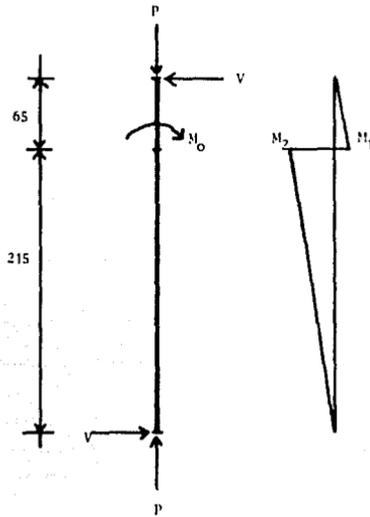
$$V=24,500/280=87.5\text{kg}$$

$$M_1=87.5 \times 65=5687.5\text{kg-cm}$$

$$M_2=87.5 \times 215=18,812.5\text{kg-cm}$$

por lo tanto, nuestro momento máximo será $M=\underline{18,812.5\text{kg-cm}}$

$$P=3500+700=4,200\text{kg}$$



UNAM	ENLP ACATLAN
TESIS PROFESIONAL	
Elementos mecánicos.	
PABLO GARCIA G.	FIG. 5.17

A continuación presento la revisión en base a los datos -
obtenidos anteriormente:

$$\left(\frac{P}{An}\right)/fcd + \left(\frac{M}{S}\right) + \left(\frac{P}{An}\right)(6e/de) / fbdCf \leq 1$$

$$P/An = 4200/15^2 = 19 \text{ kg/cm}^2$$

cálculo de fcd:

$$KL/b = (1 \times 280) / 15 = 19$$

$$\sqrt{0.30/fcp} = \sqrt{(0.3 \times 60000) / 79} = 15$$

$$KL/b > \sqrt{0.3E/fcp} \quad \text{por lo tanto es col. larga}$$

$$fcd = 0.3E / (KL/b)^2 = (0.3 \times 60000) / 19^2$$

$$fcd = 50 \text{ kg/cm}^2$$

cálculo de M/S

$$S = bd^2/6 = 15^3/6 = 562.5 \text{ cm}^3$$

$$M = 18,812.5 \text{ kg-cm}$$

$$M/S = 33.5 \text{ kg/cm}^2$$

cálculo de $(P/An)(6e\beta/de)$

$$\beta = 1.25 \text{ por ser columna larga}$$

$$emfn = 0.1d = 0.1 \times 15 = 1.5 \text{ cm}$$

$$(P/An)(6e\beta/de) = (19 \times 6 \times 1.5 \times 1.25) / 15 = 14 \text{ kg/cm}^2$$

cálculo de fbd

$$Cs = 1.4 \sqrt{dL/b^2} = \sqrt{(15)(280) / 15^2} = 6$$

$$Cs < 10, \text{ por lo tanto, } fbd = fbp = 103.6 \text{ kg/cm}^2$$

finalmente, sustituyendo en la expresión 5.33

$$(19/50) + ((33.5) + (14)) / 103.6 = 0.84 < 1$$

Como se puede observar, la sección de la columna es adecuada, sin embargo, lo óptimo es que la expresión arroje un resultado cercano a la unidad.

CAPITULO VI.- DISEÑO DE UNA NAVE
INDUSTRIAL.

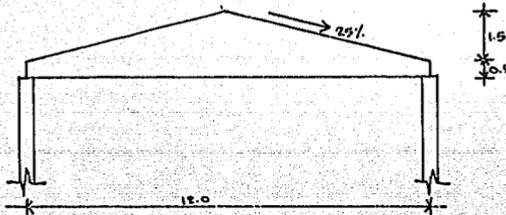
El objetivo del presente capítulo es aplicar los conceptos expuestos con anterioridad en un ejemplo que comprenda -- el análisis y diseño de una estructura completa.

Se eligió una bodega resuelta estructuralmente a base de columnas, armaduras y cubierta de lámina de asbesto, las dimensiones se muestran en la figura 6.1.

La bodega se localizará en la Cd. de Veracruz, Ver., con el objeto de tomar en cuenta los procesos de tratamiento de la madera a causa de la presencia de insectos nocivos.

DETERMINACION DE LA CUBIERTA:

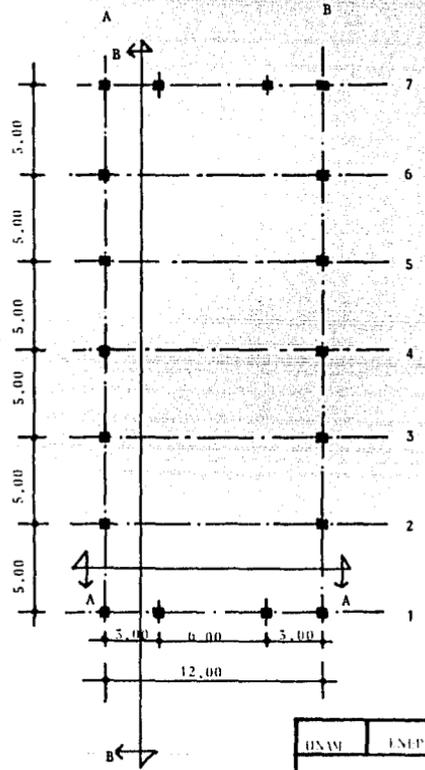
La cubierta estará formada, como ya se mencionó, por armaduras, largueros y lámina de asbesto. Las armaduras se eligieron del tipo Howe y tienen las siguientes dimensiones:



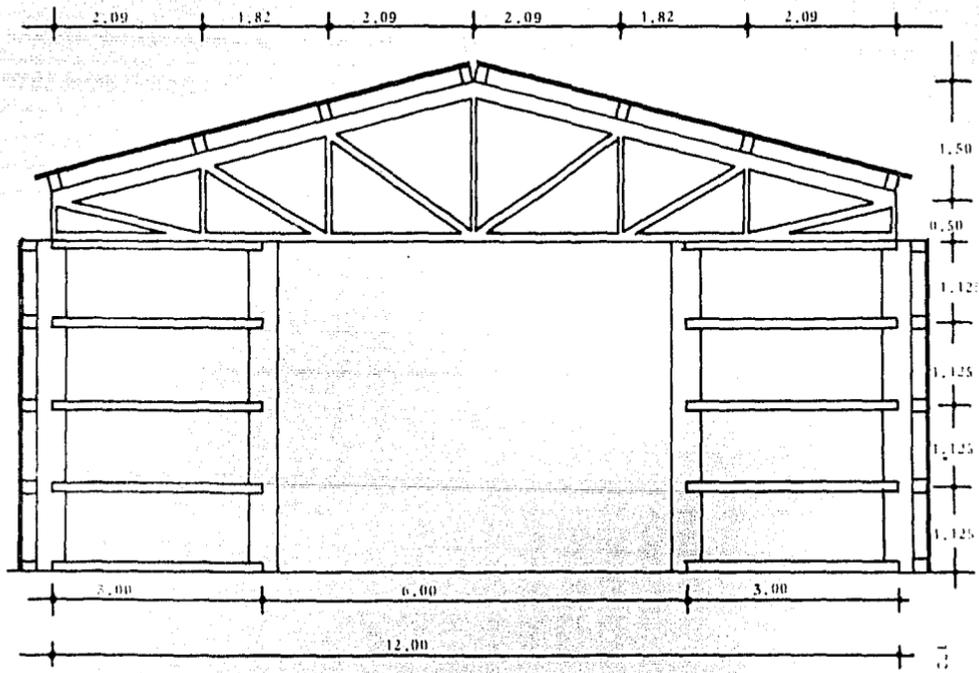
la pendiente es:

$$1.5/6=0.25 \quad ; \quad s=25\%$$

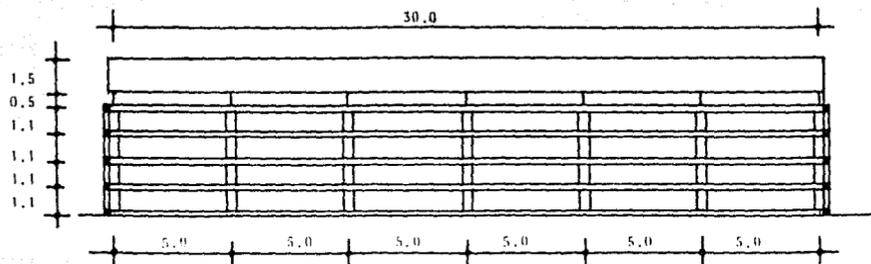
Considerando láminas de asbesto-cemento de 2.44 X 1.22 y una longitud de traslape de 57cm. se tiene que:



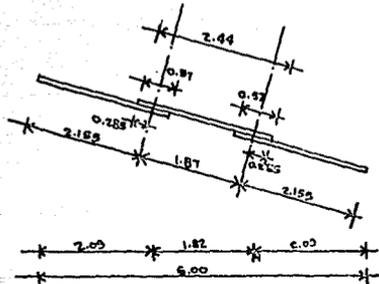
UNAM	ENP ACATELÁN
ESTUS PROFESIONAL	
NOME INDUSTRIAL (PLANCA)	
XOO: MEX.	
PABLO GARCÍA C.	11/06/1



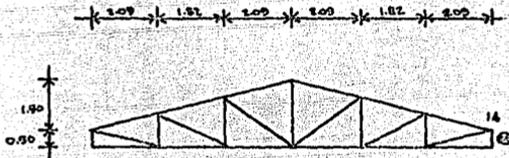
CORTE A-A (FIG. 6.1), ACOT: MTS.



CORTE B-B. (fig. 6.1); scot: mts



finalmente resulta:



$$b = 2n - r$$

$$b = 25 \text{ (número de barras)}$$

$$2n = 28 \text{ (número de nudos)}$$

$$r = 3 \text{ (número de reacciones)}$$

$$25 = 28 - 3 = 25 \quad \text{por lo tanto, la armadura es isostática.}$$

CALCULO DE CARGAS:

Cargas muertas. - Se consideran cargas muertas a todas las fuerzas que gravitan en una construcción y que tienen carácter permanente.

Las cargas muertas que deberán considerarse son las -

siguientes:

- peso propio del marco estructural (armaduras, columnas, largueros, etc...)
- cubiertas de techo y todos los elementos suspendidos (iluminación, tubería eléctrica, etc)

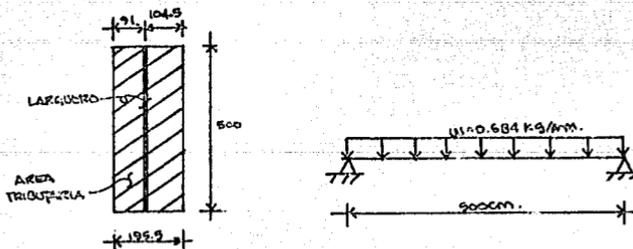
Para la obtención del peso propio de todos y cada uno de los elementos estructurales es necesario contar con el peso volumétrico del material, en este caso se considerará madera de pino de cualquier especie de tal forma que su peso vol. sea de $P_v = 450 \text{ kg/m}^3$.

CALCULO DE CARGAS VERTICALES:

Cargas muertas:

- lámina 35 kg/m^2 (de fabricante)
- instalaciones 20 kg/m^2 (es la carga que se estima por este concepto)
- armadura 6.6 kg/m^2 (de la expresión $w = 0.55L$ ref. 2, L en metros y "w" en kg/m^2
 $w = 0.55 \times 12 = 6.6$)
- largueros 4.5 kg/m^2

Para definir la carga de largueros se realizó un pre diseño de los mismos de la siguiente manera:



$$A = 97,750 \text{ cm}^2$$

$$\text{peso de lámina} = 35 \text{ kg/m}^2 = 0.0035 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{peso total} = 97750 \times 0.0035 = 342 \text{ kg}$$

$$w = 342/500 = 0.684 \text{ kg/cm}$$

$$M = wL^2/8 = ((0.684)(500)^2)/8 = 21375 \text{ kg-cm}$$

$$\text{fbp} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

incrementos:

- por duración de carga.....15%
- por $\delta > 0.40$15%
- por tratamiento.....10%

$$\text{fbp} = 70(1+0.15+0.15+0.10) = 84 \text{ kg/cm}^2$$

si proponemos una sección de 10x15cm

$$S = ((10)(15)^2)/6 = 375 \text{ cm}^3$$

$$\text{fr} = M/S = 21375/375 = 57 \text{ kg/cm}^2$$

considerando pandeo lateral

$$C_s = 1.4 \sqrt{dL/b^2} = 1.4 \sqrt{(15)(500)/100} = 12.12$$

$$C_k = \sqrt{3E/5\text{fbp}} = \sqrt{(3)(43000)/(5)(84)} = 17.52$$

E=valor mínimo de tablas multiplicado por un incremento del 7.5% por tratarse de una madera con $\delta > 0.40$ ($40000 \times 1.075 = 43000$).

$$10 < C_s < C_k, \text{ por lo tanto } \text{fbd} = \text{fbp}(1 - (1/3)(C_s/C_k)^4)$$

$$\text{fbd} = 84(1 - (1/3)(12.12/17.52)^4) = 77.6 \text{ kg/cm}^2.$$

el esfuerzo real $\text{fr} = 57 < \text{fbd} = 77.6$, por lo que se usarán largueros de 10x15cm.

Si el peso volumétrico de la madera por emplear es de 450kg/m³ y si tenemos (según planta) 8 largueros entonces:

$$0.15 \times 0.10 \times 30 \times 8 = 3.6 \text{ m}^3$$

$$\text{peso total de largueros} = 450 \times 3.6 = 1620 \text{ kg}$$

si lo dividimos entre el área total de la estructura, $A = 360 \text{ m}^2$, la carga muerta de largueros es de

$$1620/360 = 4.5 \text{ kg/m}^2.$$

de lo anterior, la carga muerta es de

$$C.M. = 35 + 20 + 6.6 + 4.5 = 66.1 \text{ kg/m}^2.$$

Cargas vivas:

- carga viva máx.=30kg/m² (para cubiertas con pendiente mayor del 20%, ref.10)
- carga viva red.=20kg/m² (ref.10).

CARGAS ACCIDENTALES:

Las cargas accidentales a considerar son las producidas por el viento y el sismo.

Viento: Unicamente se hará mención al tipo y grupo al que corresponde nuestra estructura, basados en la ref.16.

Para poder determinar las presiones y succiones, es necesario utilizar la siguiente ecuación (ref.16):

$$p=0.0048GCVd^2 \dots \dots \dots (6.1) .$$

donde:

- p=presión ó succión del viento
- Vd=velocidad de diseño
- G=factor de densidad de la atmósfera a la altura h(km)sobre el nivel del mar.
- C=coeficiente de empuje. Cuando C es positiva se trata de una presión, y cuando C es negativa se trata de una succión.

El valor de la velocidad de diseño está en función de:

- localización geográfica
- probabilidad de excedencia
- topografía en la vecindad de la estructura
- características de la estructura.

La ecuación para calcular la velocidad de diseño es

la siguiente:

$$Vd=FrVz \dots \dots \dots 6.2$$

donde

- Fr=1 (ref.16)
- Vz=Vb6.3 (por ser $z=5.5 < 10m$)
- Vb=velocidad básica, que tiene un valor de
- Vb=KVr 6.4

donde:

K=factor que depende de la topografía. La estructura está ubicada en un barrio industrial, por lo que

$$K=0.80 \text{ (ref.16).}$$

Vr=velocidad regional. La estructura, según la ref. 16, está ubicada en la zona sísmica 7, por lo que Vr=160km/hr

sustituyendo Vr=160 y K=0.80 en la ecuación 6.4, se obtiene

$$Vb=0.80 \times 160$$

$$Vb=128 \text{ km/hr} \dots\dots 6.5$$

sustituyendo 6.5 en 6.3

$$Vz=128 \text{ km/hr} \dots\dots\dots 6.6$$

finalmente, sustituyendo 6.6 en 6.2, se tiene

$$Vd=1 \times 128$$

$$\underline{Vd=128 \text{ km/hr.}}$$

El valor de G de la ecuación 6.1 se determina mediante

$$G=(8+h)/(8+2h) \dots\dots\dots 6.7$$

donde:

h=altura sobre el nivel del mar del sitio donde se encuentra la estructura.

$$\underline{G=1}$$

sustituyendo Vd=128 y G=1 en la ecuación 6.1

$$p=0.0048(1)(128)^2 C \text{ en kg/m}^2$$

$$\underline{p=79C} \dots\dots\dots 6.8$$

el valor de C de la ecuación 6.1 se determinará más adelante.

Sismo: La fuerza horizontal inducida por un sismo puede calcularse por medio de la expresión:

$$F=(\sum Wi)(W_i h_i) c.s. / (\sum W_i h_i) \dots 6.9$$

donde:

F=fuerza sísmica

$\sum Wi$ =peso total de la estructura

Wi=peso del nivel en estudio

hi=altura del nivel en estudio

c.s.=coeficiente sísmico

El valor del coeficiente sísmico de la expresión 6.9 se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$c.s.(x,y)=c/Q(x,y) \dots\dots\dots 6.10$$

donde

c =coeficiente sísmico básico

$Q(x,y)$ =factor de ductilidad

El coeficiente sísmico básico está en función del -- grupo en el que se considera la estructura, de la zona sísmica y del tipo de suelo en donde está desplantada la estructura. La estructura corresponde al grupo B, está ubicada en la zona B (- ref.16) y está desplantada en un suelo tipo II (suelo de baja - rigidez, tal como arenas no cementadas ó limos de mediana ó alta compacidad, arcillas de mediana compacidad ó suelos de características similares). Por lo tanto, se deduce que el valor de "c" de la ecuación 6.10 es:

$$c=0.27 \text{ (ref.10).}$$

El factor de ductilidad, según la ref.10 es:

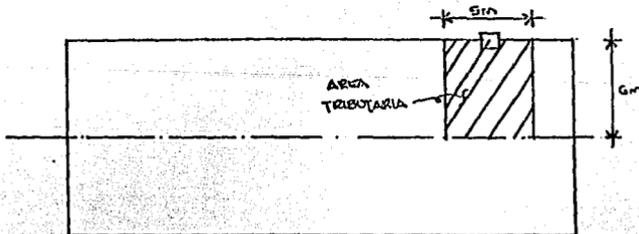
$$Q(x,y)=2.$$

Por lo tanto, sustituyendo los valores anteriores en la ecuación 6.9 obtenemos:

$$F=0.135W_i \dots\dots\dots 6.11$$

CALCULO DE CARGAS HORIZONTALES:

Carga por sismo.- Se determinó que $F=0.135W$, por lo que para determinar el peso (W) de nuestra estructura, es necesario considerar la carga muerta (66.10kg/m²) y la carga viva reducida (20 kg/m²), además de la mitad del peso propio de las columnas, para ello se efectúa a continuación un prediseño de las mismas.



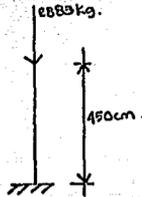
área tributaria = $5 \times 6 = 30 \text{ m}^2$

$\text{CM} + \text{CVM} = 66.1 + 30 = 96.1 \text{ kg/m}^2$

la carga axial en cada columna es

$p = 96.1 \times 30 = 2883 \text{ kg}$

proponiendo una sección de $40 \times 40 \text{ cm}$



$K = 2$

$L = 450 \text{ cm}$

$b = 40 \text{ cm}$

$KL/b = (2)(450)/40 = 22.5$

$f_{cp} = 50 \text{ kg/cm}^2$

incrementos:

- por duración de carga 15%
- por $\gamma > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

$$f_{cp} = 50(1 + 0.15 + 0.15 - 0.10) = 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{(0.30)(43000)/60} = 14.7$$

como $KL/b > \sqrt{0.3E/f_{cp}}$ se trata de una columna larga.

$$\text{por lo que } f_{cd} = 0.3E/(KL/b)^2 = (0.3)(43000)/22.5^2$$

$f_{cd} = 25.5 \text{ kg/cm}^2$

la capacidad del elemento es

$$25.5 \times 40 \times 40 = 40800 \text{ kg} > 2883 \text{ kg}$$

se usarán columnas de 40x40 cm.

el peso total de columnas es

$$0.4 \times 0.4 \times 2.25 \times 450 \times 14 = 2268 \text{ kg}$$

$$CM + CVR = 66.1 + 20 = 86.1 \text{ kg}$$

$$\text{área} = 30 \times 12 = 360 \text{ m}^2$$

$$W = (360 \times 86.1) + 2268 = 33264 \text{ kg}$$

finalmente

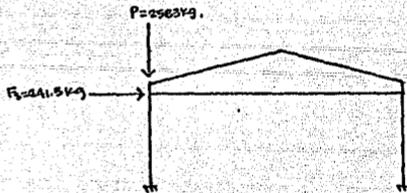
$$Fs = 0.135 \times 33264 = 4490.6 \text{ kg}$$

para el sismo actuando en dirección transversal tenemos

$$Fs = 4490.6 / 7 \text{ marcos} = 641.5 \text{ kg/marco}$$

$$p = (CM + CVR) \times (\text{área tributaria de columna})$$

$$p = 86.1 \times 5 \times 6 = 2583 \text{ kg}$$

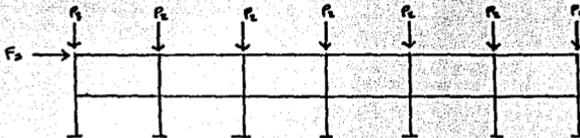


para el sismo actuando en dirección longitudinal tenemos

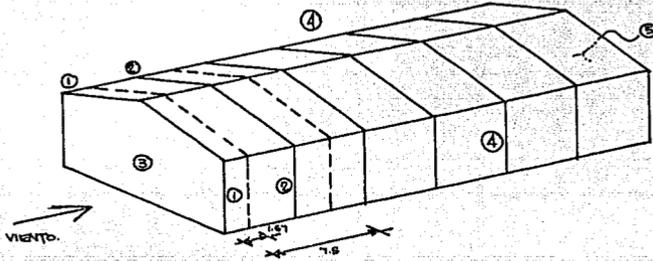
$$p_1 = 86.1 \times 2.5 \times 12 / 2 = 1291.5 \text{ kg}$$

$$p_2 = 86.1 \times 5 \times 12 / 2 = 2583 \text{ kg}$$

$$Fs = 4490.6 / 2 \text{ marcos} = 2245.3 \text{ kg}$$



Carga por viento. - Cuando el viento actúa paralelo a la generatriz se tiene lo siguiente:



$$H = 4.5 + 0.50 = 5\text{m}$$

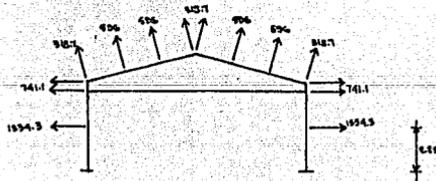
$$H/3 = 1.67\text{m}$$

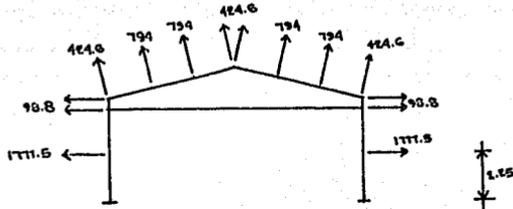
$$1.5H = 7.5\text{m}$$

se determinó que $p = 79C$ (ecuación 6.8)

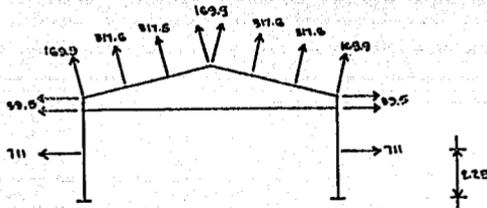
Zona	C	$79C$ (kg/m ²)
1	1,75	138,25 (succión)
2	1,00	79,00 (succión)
3	0,75	59,25 (presión)
4	0,40	31,60 (succión)
5	0,68	53,72 (succión)

Marco 1 (Wt = 296,5 kg/m)





Marco 3 (Wt=158kg/m)



$$p3 = 1774.8 - 1291.5 = 484$$

$$p4 = 2364.5 - 2583 = 218.5$$

$$p5 = 945.2 - 2583 = 1638$$

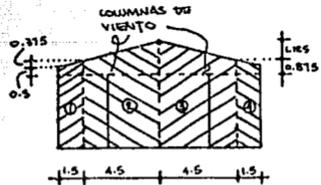
$$p6 = 1291.5 - 476 = 816$$

$$A1 = (1.5 \times 4.5) + (0.875 + 0.5) \times 1.5 / 2 = 7.78 \text{ m}^2$$

$$A4 = A1$$

$$A2 = (4.5 \times 4.5) + (2 + 0.875) \times 4.5 / 2 = 26.7 \text{ m}^2$$

$$A3 = A2$$



punto de aplicación de la fuerza(en columna de esquina)

$$\sum A=7.78$$

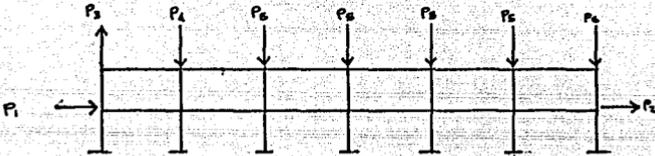
$$\sum Ay=(1.5 \times 0.375 \times (5+0.375/3))/2 + 1.5 \times 5 \times 2.5=20.19$$

$$\bar{y}=20.19/7.78=2.6\text{m}$$

$$p1=7.78 \times 0.75 \times 79=461$$

$$p2=7.78 \times 0.68 \times 79=418$$

Marco A ó B:



punto de aplicación de la fuerza (en columnas de viento)

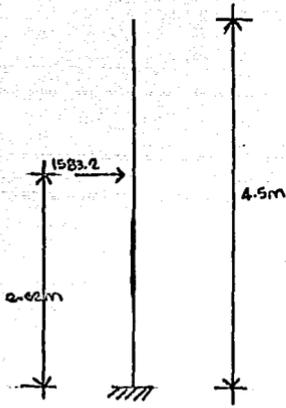
$$\sum A=26.72$$

$$\sum Ay=(4.5 \times 1.125 \times (5.375+1.125/3))/2 + 4.5 \times 5.375 \times 2.688=70.12$$

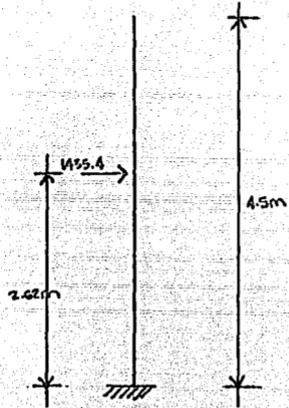
$$\bar{y}=70.12/26.72=2.62\text{m}$$

$$p1=26.72 \times 0.75 \times 79=1583.2\text{kg}$$

$$p2=26.72 \times 0.68 \times 79=1435.4\text{kg}$$



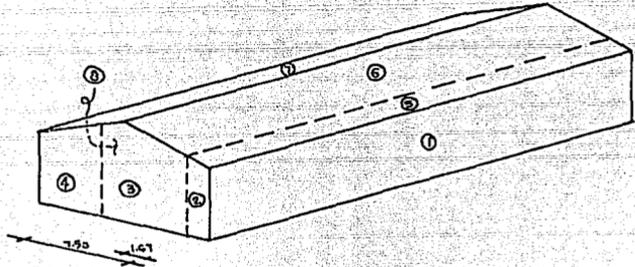
columna de viento
(zona de presión)



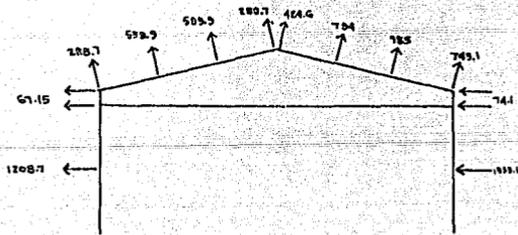
columna de viento
(zona de succión)

Por otro lado, cuando el viento actúa normal a la generatriz se tiene lo siguiente:

Zona	c	79c (kg/m ²)
1	0.75	59.25 (presión)
2	1.75	138.25 (succión)
3	1.00	79.00 (succión)
4	0.40	31.60 (succión)
5	1.75	138.25 (succión)
6	1.00	79.00 (succión)
7	0.68	53.72 (succión)
8	0.68	53.72 (succión)



MARCO 3.



Para los marcos longitudinales (A y B) tenemos que:

$$p_1 = 138.25 \times 7.78 = 1075.6 \text{ kg}$$

$$p_2 = 31.6 \times 7.78 = 245.8 \text{ kg}$$

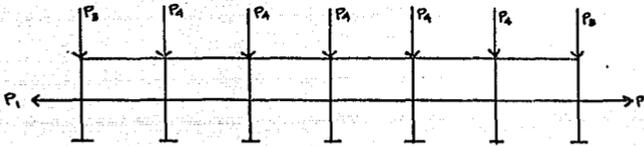
$$p_3 = 1291.5 - 925 = 366.5 \text{ kg}$$

$$p_4 = 2583 - 1850 = 733 \text{ kg}$$

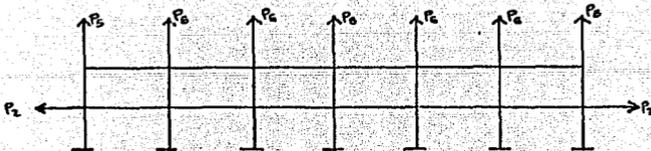
$$p_5 = 1291.5 - 1308 = 16.5 \text{ kg}$$

$$p_6 = 2583 - 2616 = 33 \text{ kg}$$

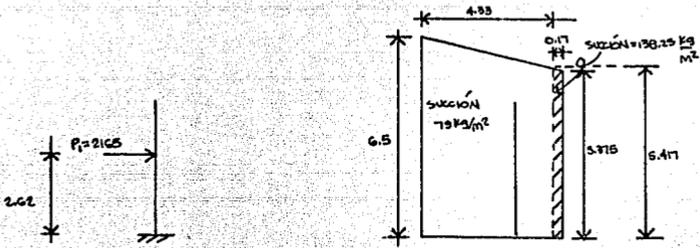
MARCO A



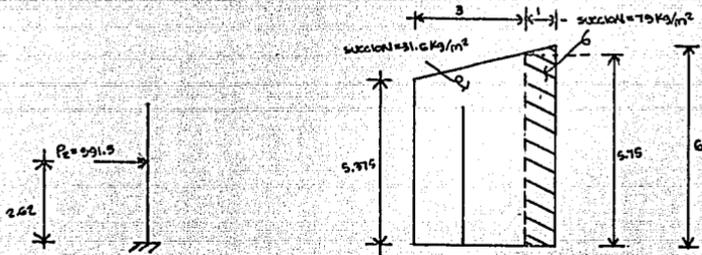
MARCO B



las fuerzas que reciben las columnas de viento son:



$$p1 = ((5.375 + 5.417) (0.17) (138.25) / 2) + ((5.417 + 6.5) (4.33) (79) / 2) = 2165 \text{ kg}$$



$$p2 = ((6 + 5.75) (1) (79) / 2) + ((5.375 + 5.75) (3) (31.6) / 2) = 991.5 \text{ kg}$$

- CLIMA, METODO DE TRATAMIENTO Y PRESERVADORES.

De acuerdo con el capítulo III, inciso 3.1, la pudrición en la madera se presenta bajo las siguientes condiciones:

- 1) Temperatura entre 20 y 36°C
- 2) Contenido de humedad mayor del 18%
- 3) Las paredes celulares sirven de alimento a los hongos.
- 4) Debe de existir oxígeno en la madera, ya que el hongo lo transforma en energía para su supervivencia.

La forma más práctica de evitar la pudrición es "envenenar" el alimento de los hongos (condición 3) por medio de sustancias tóxicas (preservadores) que se introducen en la madera de la forma descrita en el inciso 3.2. El tipo de tratamiento está en función del clima al que va a estar expuesto la estructura.

En base a las condiciones anteriores, podemos decir -- que la madera en climas cálido-húmedos necesita de mayor protección que en los secos, ya sean fríos ó cálidos, ya que en los cálidos puede presentarse más fácilmente la condición uno, y si además es húmedo se cumple la condición dos; es por esta razón -- que en climas cálido-húmedos se requiere de un mayor cuidado y -- de un tratamiento más riguroso. Si se cumple lo anterior se dice que la madera está sujeta a un alto riesgo de ser deteriorada -- por hongos. Cabe señalar que la madera en contacto directo con -- el suelo, sin importar el clima en el que se localiza, está sujeta a un alto riesgo.

Para determinar el riesgo a la pudrición será necesario definir el término índice climático.

El índice climático es un parámetro que nos determina el nivel de riesgo a la pudrición y se obtiene aplicando la fórmula de Schffer (ref. 9):

$$\text{Índice climático} = \sum_{\text{enero}}^{\text{dic.}} (T-2)(D-3)/16.7 \dots\dots\dots 6.12$$

donde:

T=temperatura media mensual, °C

D=número de días al mes con una precipitación $> 0.1\text{mm}$

\sum dic. = suma de los productos para los meses respectivos de ene-
nero. ro a diciembre.

En la fórmula original de Scheffer el valor de "D" correspondía al número de días al mes con una precipitación igual o mayor a los 0.25mm, en la República Mexicana éste valor se redujo a 0.1mm con objeto de tener cierto margen de seguridad adicional, con el cual se trata de cubrir algo de lo mucho que desconocemos en México sobre la pudrición de la madera (ref. 9).

El factor de 16.7 se usó para que el índice climático tuviera un rango de valores de 0 a aproximadamente 100 (ref 9).

En base a lo anterior, se establecieron tres zonas en la República Mexicana (fig 6.2) en función del índice climático (tabla 6.1), y son:

0 \leq i.c. \leq 35 ... riesgo mínimo
35 \leq i.c. \leq 65 ... riesgo medio
i.c. $>$ 65 alto riesgo

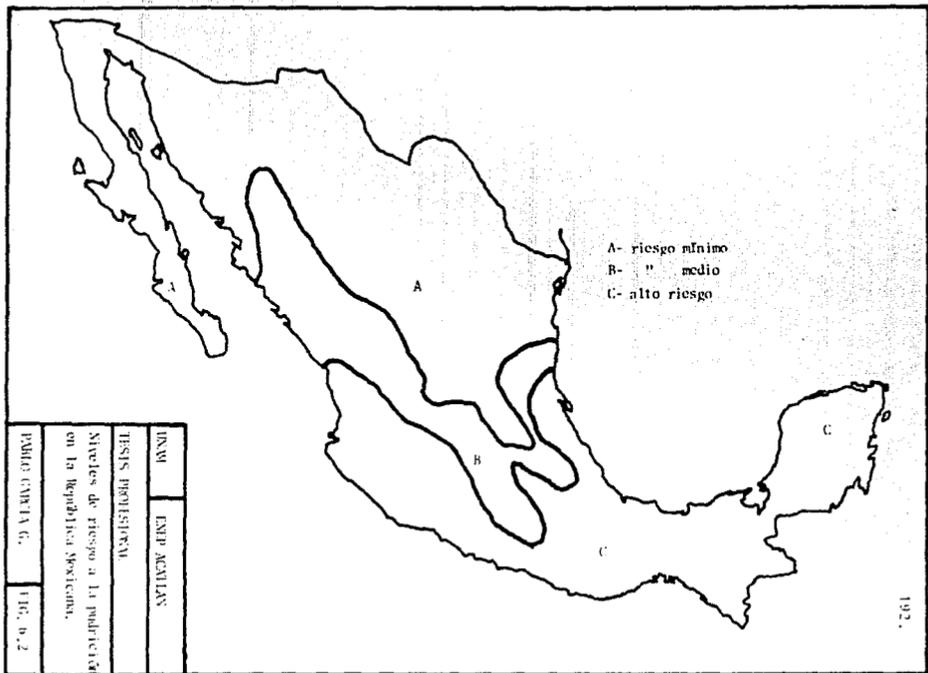
Se ha dicho que el tratamiento que se le da a la madera está en función del nivel de riesgo a la pudrición, por lo tanto, si la nave industrial se encuentra ubicada en la Cd. de Veracruz se puede concluir que a la madera por utilizar se le va a impregnar con preservadores por medio de procesos a presión.

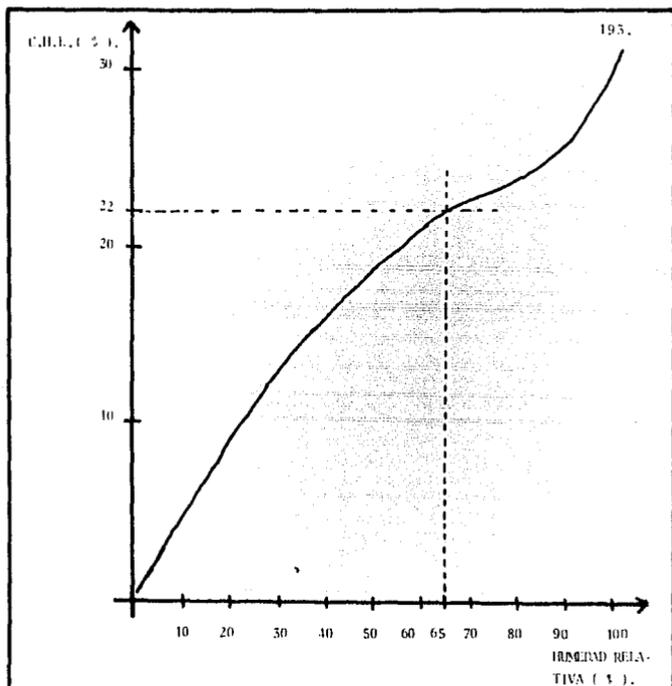
Considerando que en el lugar citado la temperatura es de 34°C y la humedad relativa (en%) de 65, se puede establecer, en base a la figura 6.3, que el contenido de humedad en equilibrio (CHE) para la Cd. de Veracruz es de 22%; se empleará cualquier método de secado con el fin de proporcionarle a la madera un contenido de humedad $CH \approx 22\%$.

Por lo anterior, se puede decir que el material estará, en condición de servicio, húmeda ($CH > 18\%$). Como se sabe, -- las termitas de madera seca ocurren principalmente en las áreas cercanas a las costas por lo que adicionalmente, el preservador contendrá algún tipo de insecticida.

TABLA 1.- Índices climáticos o de nivel de riesgo a la pudrición de 54 localidades de la República Mexicana.

Población	Índice Climático	Población	Índice Climático
Acapulco, Gro.	73.79	Mérida, Yuc.	92.15
Agascalientes, Ags.	35.44	Monclova, Coah.	16.41
Campeche, Camp.	78.12	Monterrey, N. L.	38.68
Cd. Lerdo, Dgo.	18.42	Morelia, Mich.	69.08
Cd. Obregón, Son.	25.74	Oaxaca, Oax.	73.08
Coatzacoalcas, Ver.	169.16	Orizaba, Ver.	171.35
Colima, Col.	78.49	Pachuca Hgo.	39.89
Comitán, Chis.	71.19	Piedras Negras, Coah.	21.64
Córdoba, Ver.	115.17	Progreso, Yuc.	16.09
Cozumel, Q. Roo	112.33	Puebla, Pue.	76.46
Culiacán, Sin.	48.95	Querétaro, Qro.	39.87
Chapingo, Max.	63.85	Río Verde, S. L. P.	37.71
Chihuahua, Chih.	28.45	Salina Cruz, Oax.	51.44
Chilpancingo, Gro.	64.88	Saltillo, Coah.	22.05
Durango, Dgo.	42.94	San Cristobal Las Casas, Chis.	68.06
Ensenada, B. C.	1.57	San Luis Potosí, S. L. P.	23.93
Guadalajara, Jal.	77.38	Soto La Marina, Tams.	16.26
Guanajuato, Gto.	48.62	Tacubaya, D. F.	83.28
Guaymas, Son.	4.50	Tampico, Tams.	65.49
Hermosillo, Son.	18.11	Tapachula, Chis.	192.85
Huejucar, Jal.	47.01	Tepec, Nay.	76.70
Isla Guadalupe, B. C.	0.00	Tlaxcala, Tlax.	67.43
Jalapa, Ver.	130.21	Toluca, Mx.	66.26
La Paz, B. C.	8.93	Torón, Coah.	15.55
León, Gro.	51.06	Tulancingo, Hgo.	55.93
Mazatlán, Sin.	43.77	Tuxtla Gutiérrez, Chi.	71.45
Mazatlán, Coah.	70.00	Tuxtla Gutiérrez, Chi.	118.21





RELACION ENTRE HUMEDAD RELATIVA
A 34°C Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD
EN EQUILIBRIO PARA MADERA DE PINO.
(REF. 9 J).

UNAM	ENEP ACATLÁN
TESIS PROFESIONAL	
Relación entre humedad relativa y C.H.E.	
PABLO GARCÍA G.	FIG. 6.3

El método a presión por célula llena, utilizando preservadores hidrosolubles de cromo, cobre y arsénico (CCA) es una posibilidad para utilizarlo en el presente proyecto ya que además de dar protección eficiente contra hongos e insectos (termitas), tiene ya un factor de retardante al fuego de aproximadamente 30 minutos (ref 9).

El procedimiento elegido está descrito en la sección - III.2.2. El tiempo de impregnación a que se somete la madera es de aproximadamente 2 horas. Las sales quedan adheridas a la madera a través de su celulosa, y permanecen constantes en ella.

Las sales de C.C.A., están distribuidas de la siguiente manera:

Cromo hexavalente en forma de CrO_3	47%
Cromo en forma de CuO	19%
Arsénico en forma As_2O_5	34%

y la cantidad de sales en kilogramos por metro cúbico de madera es la siguiente:

9.6	para madera enterrada
6.4	para madera en contacto con el suelo
4.0	para madera en muros y techos

Las especificaciones anteriores corresponden a la norma C2-82 para madera aserrada de pino de las " NORMAS DE LA ASOCIACION AMERICANA DE PRESERVADORES DE MADERA ESTANDARIZADA " (referencia 9).

Resumiendo, y con el objeto de definir las propiedades mecánicas últimas de la madera se tiene que:

- La madera será instalada en condición verde y en servicio estará en las mismas condiciones.
- Los elementos estructurales serán sometidos a tratamiento, por lo que el valor de los esfuerzos en condición verde especificados por las NTC serán reducidos en un 10% (ref 2).

ANALISIS DE ARMADURAS.

Para la combinación CM+CVM tenemos que:

$$CM=66.1 \times 5=330.5$$

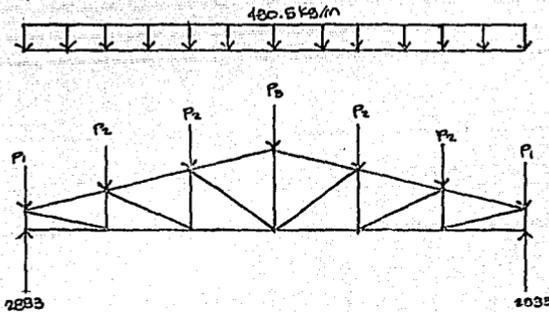
$$CVM=30 \times 5=150$$

$$w=330.5+150=480.5$$

$$p1=2.09 \times 480.5/2=502.1 \text{ kg}$$

$$p2=((2.09/2)(1.82/2)) \times 480.5=939.4 \text{ kg}$$

$$p3=2.09 \times 480.5=1004.2 \text{ kg.}$$



Para la combinación CM+CVR tenemos:

$$CM=66.1 \times 5=330.5$$

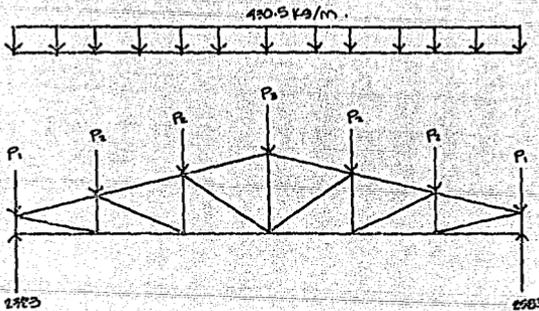
$$CVR=20 \times 5=100.0$$

$$w=330.5+100.0=430.5$$

$$p1=((2.09/2)(430.5))=449.9$$

$$p2=(2.09/2+1.82/2) \times 430.5=841.6$$

$$p3=2.09 \times 430.5=899.7 \text{ kg}$$



Carga de viento paralelo (marco 1)

$$p_1 = (0.5)(296.5)/2 = 74.1$$

$$p_2 = (2.15)(296.5)/2 = 318.7$$

$$p_3 = (2.15/2 + 1.87/2)(296.5) = 596.0$$

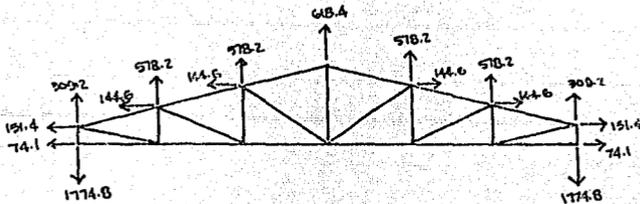
proyección de fuerzas

$$318.7 \text{sen} 14.04 = 77.3$$

$$318.7 \text{cos} 14.04 = 309.2$$

$$596 \text{sen} 14.04 = 144.6$$

$$596 \text{cos} 14.04 = 578.2$$



Carga de viento paralelo (marco 2).

$$p_1 = (0.5/2)(395) = 98.8$$

$$p_2 = (2.15/2)(395) = 424.6$$

$$p_3 = (2.15/2 + 1.87/2)(395) = 794$$

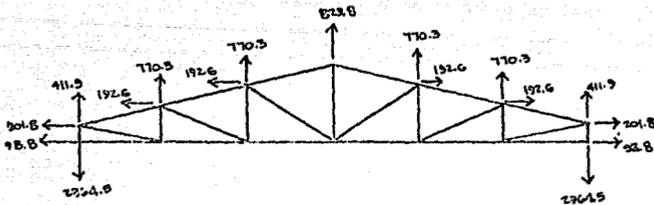
proyección de fuerzas

$$424.6 \sin 14.04 = 103$$

$$424.6 \cos 14.04 = 411.9$$

$$794 \sin 14.04 = 192.6$$

$$794 \cos 14.04 = 770.3$$



Carga de viento paralelo (marco 3)

$$p1 = (0.5/2) (158) = 39.5$$

$$p2 = (2.15/2) (158) = 169.9$$

$$p3 = (2.15/2 + 1.87/2) (158) = 317.6$$

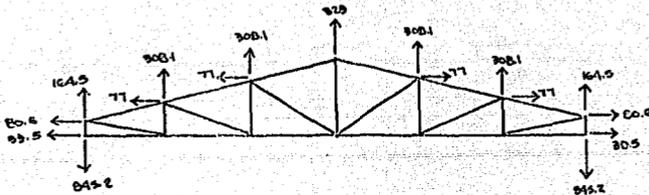
proyección de fuerzas

$$169.6 \sin 14.04 = 41.1$$

$$169.6 \cos 14.04 = 164.5$$

$$317.6 \sin 14.04 = 77.0$$

$$317.6 \cos 14.04 = 308.1$$



200.

Carga de viento normal (cualquier marco)

$$p1 = (0.5/2)(268.6) = 67.1$$

$$p2 = (0.5/2)(296.2) = 74.1$$

$$p3 = (2.15/2)(268.6) = 288.7$$

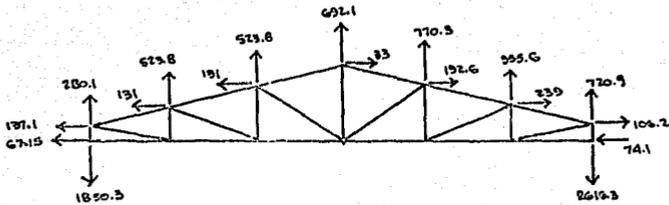
$$p4 = (2.15/2 + 1.87/2)(268.6) = 539.9$$

$$p5 = (2.15/2)(395) = 424.6$$

$$p6 = (2.15/2 + 1.87/2)(395) = 794$$

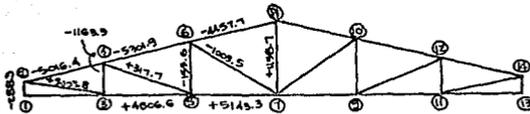
$$p7 = (1.87/2 + 0.43)(395) + (0.645)(691.2) = 985$$

$$p8 = (2.15/2)(691.2) = 743.1$$

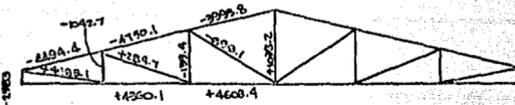


Analizando las armaduras anteriores por el método de -
nudos obtenemos lo siguiente:

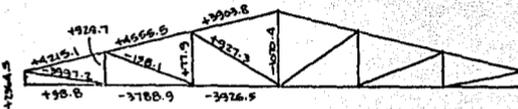
CM+CVM



CM+CVR



VIENTO PARALELO, MARCO 1



BARRA	ELEMENTO	CM+CVM (1)	CM+CVR (2)	VIENTO			VIENTO NORMAL (6)	(2)+(3)	(2)+(4)	(2)+(5)	(2)+(6)
				MARCO 1 (3)	MARCO 2 (4)	MARCO 3 (5)					
2-4	Cuerda S.	-5016,4	-4494,4	+3164,2	+4215,1	+1683,4	+3377,5	-1330,2	-279,3	=2811	-1116,9
4-6	"	-5301,9	-4750,1	+3419,7	+4555,5	+1819,3	+3759,5	-1330,4	-194,6	-2930,8	-990,6
6-8	"	-4457,7	-3993,8	+2930,5	+3903,8	+1559,1	+3440,0	-1063,3	-90,0	-2434,7	-553,8
8-10	"	-4457,7	-3993,8	+2930,8	+3903,8	+1559,1	+3406,0	-1063,3	-90,0	-2434,7	-587,8
10-12	"	-5301,9	-4750,1	+3419,7	+4555,5	+1819,3	+4163,4	-1330,4	-194,6	-2930,8	-586,7
12-14	"	-5016,4	-4494,4	+3164,2	+4215,1	+1683,4	+4047,0	-1330,2	-279,3	-2811,0	-447,4
1-3	Cuerda I.	0,0	0,0	+ 74,1	+ 98,8	+ 39,5	+ 97,6	+ 74,1	+ 98,8	+ 39,5	+ 97,6
3-5	"	+4866,6	+4360,1	-2844,2	-3788,9	-1513,2	-3041,8	+1515,9	+571,2	+2846,9	+1318,3
5-7	"	+5143,6	+4608,4	-2947,5	-3926,5	-1568,1	-3281,4	+1660,9	+681,9	+3040,3	+1327,0
7-9	"	+5143,6	+4608,4	-2947,5	-3926,5	-1568,1	-3769,0	+1660,9	+681,9	+3040,3	+839,4
9-11	"	+4866,6	+4360,1	-2844,2	-3788,9	-1513,2	-3894,0	+1515,9	+571,2	+2846,9	+466,1
11-13	"	0,0	0,0	+ 74,1	+ 98,8	+ 39,5	- 74,1	+ 74,1	+ 98,8	+ 39,5	- 74,1
1-2	Montante	-2883,0	-2583,0	+1774,8	+2364,5	+ 945,2	+1850,3	- 808,2	-218,5	-1637,8	-732,7
3-4	"	-1163,9	-1042,7	+ 697,9	+ 929,7	+ 371,3	+ 750,8	- 344,8	-113,0	- 671,4	-291,9
5-6	"	- 155,6	- 139,4	+ 58,5	+ 77,9	+ 31,1	+ 134,6	- 80,9	- 61,5	- 108,3	- 4,8
7-8	"	+1158,7	+1038,2	- 803,5	-1070,4	- 427,5	- 968,7	+ 234,7	- 32,2	+ 610,7	+ 69,5
9-10	"	- 155,6	- 139,4	+ 58,5	+ 77,9	+ 31,1	- 70,2	- 80,9	- 61,5	- 108,3	-209,6
11-12	"	-1163,9	-1042,7	+ 697,9	+ 929,7	+ 371,3	+ 913,6	- 344,8	-113,0	- 671,4	-129,1
13-14	"	-2883,0	-2583,0	+1774,8	+2364,5	+ 945,2	+2616,3	- 808,2	-218,5	-1637,8	+ 33,3
2-3	Diagonal	+5003,8	+4483,3	-3000,6	-3997,2	-1596,4	-3228,0	+1482,7	+486,1	+2886,9	+1255,3
4-5	"	+ 317,7	+ 284,7	- 118,7	- 158,1	- 63,1	- 274,8	+ 166,0	+126,6	+ 221,6	+ 9,8
6-7	"	-1003,5	- 899,1	+ 696,1	+ 927,3	+ 370,3	+ 540,0	- 203,0	+ 28,2	- 528,8	- 359,1
7-10	"	-1003,5	- 899,1	+ 696,1	+ 927,3	+ 370,3	+1138,4	- 203,0	+ 28,2	- 528,8	+ 239,3
9-12	"	+ 317,7	+ 284,7	- 118,7	- 158,1	- 63,1	+ 143,4	+ 166,0	+126,6	+ 221,6	+ 428,1
11-14	"	+5003,8	+4483,3	-3000,6	-3997,2	-1596,4	-3927,6	+1482,5	+485,9	+2886,7	+ 555,5

TABLA 6.2

ANALISIS DE MARCOS.

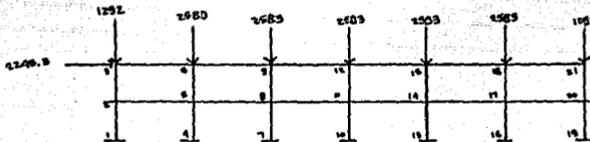
Para llevar a cabo el diseño de columnas y traveses, se realizó un análisis de los marcos en el sentido longitudinal y en el sentido transversal.

En el sentido transversal, la estructura no está conformada por marcos por lo que para el análisis de las columnas en esa dirección se consideraron empotradas en el extremo inferior y libres en el superior, es decir, en "cantiliver".

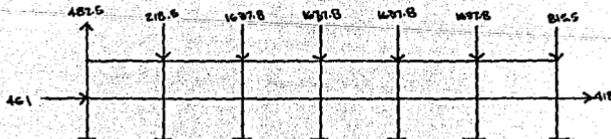
En el sentido longitudinal, la estructura si está conformada por marcos cuyos elementos que lo componen son columnas y traveses.

Se analizaron las siguientes condiciones de carga:

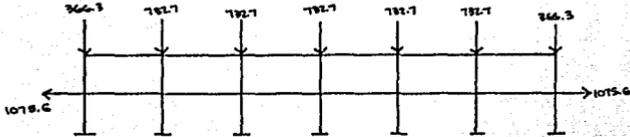
CM+CVR+SISMO



CM+CVR+VIENTO PARALELO



CM+CVR+VIENTO NORMAL MARCO B.



Los marcos se analizaron en computadora utilizando el programa "Marcos R3 Versión 1.01 Pascal MS-DOS" elaborado por el profesor Eduardo Padilla Acero y está basado en el método de rigideces, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

CM+CVR+SISMO
DESPLAZAMIENTOS

02x# 0.261241
 02y# -0.003307
 02z# -0.002132
 03x# 0.685822
 03y# -0.007252
 03z# -0.002673
 04x# 0.254006
 04y# -0.005477
 05x# -0.001368
 06x# 0.733226
 06y# -0.016345
 06z# -0.002454
 08x# 0.243542
 08y# -0.008468
 08z# -0.001841
 09x# 0.737059
 09y# -0.016326
 09z# -0.002229
 111x# 0.232925
 111y# -0.008462
 111z# -0.001741
 112x# 0.634308
 112y# -0.016316
 112z# -0.003074
 114x# 0.224076
 114y# -0.008457
 114z# -0.001866
 115x# 0.683654
 115y# -0.016310
 115z# -0.001372
 117x# 0.217710
 117y# -0.008448
 117z# -0.001618
 118x# 0.644333
 118y# -0.016322
 118z# -0.001311
 120x# 0.213665
 120y# -0.004465
 120z# -0.001607
 121x# 0.636825
 121y# -0.008808
 121z# -0.001950

CM+CVR+VP
DESPLAZAMIENTOS

02x# 0.050020
 02y# 0.001607
 02z# -0.005711
 03x# 0.093719
 03y# 0.003196
 03z# -0.000151
 05x# 0.040661
 05y# -0.000714
 05z# -0.003248
 06x# 0.052325
 06y# -0.000207
 08x# 0.036362
 08y# -0.003754
 08z# -0.000225
 09x# 0.091016
 09y# -0.011736
 09z# -0.010523
 111x# 0.029229
 111y# -0.005356
 111z# -0.000622
 112x# 0.030371
 112y# -0.010712
 112z# -0.000236
 114x# 0.036188
 114y# -0.005257
 114z# -0.000237
 115x# 0.030582
 115y# -0.011214
 115z# -0.000530
 117x# 0.029594
 117y# -0.005257
 117z# -0.000245
 118x# 0.031915
 118y# -0.010714
 118z# -0.000209
 120x# 0.048040
 120y# -0.002699
 120z# -0.000265
 121x# 0.029576
 121y# -0.003378
 121z# -0.000153

CM+CVR+VNMB
DESPLAZAMIENTOS

02x# -0.046930
 02y# -0.001195
 02z# 0.000133
 03x# -0.022779
 03y# -0.002382
 03z# -0.000235
 05x# -0.025453
 05y# -0.002339
 05z# 0.000077
 06x# -0.017290
 06y# -0.004502
 06z# -0.004087
 08x# -0.016326
 08y# 0.002377
 08z# 0.000036
 09x# -0.009155
 09y# -0.004376
 09z# -0.000328
 111x# 0.000000
 111y# -0.002395
 111z# -0.000000
 112x# 0.000000
 112y# -0.004754
 112z# -0.000000
 114x# 0.010736
 114y# -0.002297
 114z# -0.000036
 115x# 0.003155
 115y# -0.004726
 115z# 0.000009
 117x# 0.024459
 117y# -0.002295
 117z# -0.000077
 118x# 0.017290
 118y# -0.004692
 118z# 0.000007
 120x# 0.048333
 120y# -0.001195
 120z# -0.000133
 121x# 0.023779
 121y# -0.002382
 121z# 0.000235

CM+CVR+SISMO

**** FUERZAS EN BARRAS ****

Barra 1-- 2	n(1)	p1x=-1194.766	p1y=-206.283	m1z=110145.399
	n(2)	p2x=-1194.766	p2y=-206.283	m2z=-63732.327
Barra 2-- 3	n(2)	p2x=-1236.897	p2y=-392.966	m2z=74466.109
	n(3)	p3x=-1236.897	p3y=-392.966	m3z=14011.290
Barra 2-- 5	n(2)	p2x=-186.683	p2y= 42.131	m2z=-10573.792
	n(5)	p5x=-186.683	p5y= 42.131	m5z=-10391.485
Barra 3-- 6	n(3)	p3x=-1552.334	p3y= 54.603	m3z=-14011.290
	n(6)	p6x=-1552.334	p6y= 54.603	m6z=-13290.285
Barra 4-- 5	n(4)	p4x=-2552.691	p4y=-314.795	m4z=-115662.131
	n(5)	p5x=-2552.691	p5y=-314.795	m5z=-44833.747
Barra 5-- 6	n(5)	p5x=-289.275	p5y=-403.237	m5z=65162.601
	n(6)	p6x=-289.275	p6y=-403.237	m6z=25565.689
Barra 5-- 8	n(5)	p5x=-275.126	p5y= 39.314	m5z=-9937.869
	n(8)	p8x=-275.126	p8y= 39.314	m8z=-9713.294
Barra 6-- 9	n(6)	p6x=-1449.036	p6y= 48.329	m6z=-12275.524
	n(9)	p9x=-1449.036	p9y= 48.329	m9z=-11868.791
Barra 7-- 8	n(7)	p7x=-2559.267	p7y=-349.900	m7z=114430.424
	n(8)	p8x=-2559.267	p8y=-349.900	m8z=-35702.533
Barra 8-- 9	n(8)	p8x=-2586.916	p8y=-346.109	m8z=54749.715
	n(9)	p9x=-2586.916	p9y=-346.109	m9z=23124.866
Barra 8--11	n(8)	p8x=-271.335	p8y= 36.264	m8z=-3127.523
	n(11)	p11x=-271.335	p11y= 36.264	m11z=-9154.372
Barra 9--12	n(9)	p9x=-1102.987	p9y= 44.413	m9z=-11236.095
	n(12)	p12x=-1102.987	p12y= 44.413	m12z=-10970.263
Barra 10--11	n(10)	p10x=-2657.457	p10y=-357.716	m10z=111295.301
	n(11)	p11x=-2657.457	p11y=-357.716	m11z=-30719.113
Barra 11--12	n(11)	p11x=-2585.651	p11y=-312.113	m11z=48726.988
	n(12)	p12x=-2585.651	p12y=-312.113	m12z=21495.484
Barra 11--14	n(11)	p11x=-229.732	p11y= 35.159	m11z=-8353.503
	n(14)	p14x=-229.732	p14y= 35.159	m14z=-3725.800
Barra 12--15	n(12)	p12x=-790.834	p12y= 41.761	m12z=-10536.360
	n(15)	p15x=-790.834	p15y= 41.761	m15z=-10352.268
Barra 13--14	n(13)	p13x=-2585.934	p13y=-353.883	m13z=107747.064
	n(14)	p14x=-2585.934	p14y=-353.883	m14z=-28123.277
Barra 14--15	n(14)	p14x=-2584.671	p14y=-372.402	m14z=45364.371
	n(15)	p15x=-2584.671	p15y=-372.402	m15z=-20426.079
Barra 14--17	n(14)	p14x=-164.250	p14y= 33.895	m14z=-8515.234
	n(17)	p17x=-164.250	p17y= 33.895	m17z=-8432.456
Barra 15--18	n(15)	p15x=-424.472	p15y= 46.056	m15z=-10073.311
	n(18)	p18x=-424.472	p18y= 46.056	m18z=-9971.362
Barra 16--17	n(16)	p16x=-2583.340	p16y=-344.721	m16z=10475.737
	n(17)	p17x=-2583.340	p17y=-344.721	m17z=-2150.446
Barra 17--19	n(17)	p17x=-2661.851	p17y=-24.367	m17z=43994.250
	n(18)	p18x=-2661.851	p18y=-24.367	m18z=19306.433
Barra 17--20	n(17)	p17x=-102.895	p17y= 33.447	m17z=-3371.345
	n(20)	p20x=-102.895	p20y= 33.447	m20z=-2352.853
Barra 18--21	n(18)	p18x=-214.104	p18y= 40.199	m18z=-10017.154
	n(21)	p21x=-214.104	p21y= 40.199	m21z=-10682.280
Barra 19--20	n(19)	p19x=-1365.146	p19y=-318.001	m19z=10129.295
	n(20)	p20x=-1365.146	p20y=-318.001	m20z=-29733.148
Barra 20--21	n(20)	p20x=-1311.639	p20y=-214.104	m20z=36091.291
	n(21)	p21x=-1311.639	p21y=-214.104	m21z=10062.280

CM+CVR+VP

***** FUERZAS EN BARRAS *****

Barra 1-- 2	n(1)	p1y=491.262	p1y=-189.235	m1z=32320.013
	n(2)	p2x=491.262	p2y=-189.235	m2z=10275.530
Barra 2-- 3	n(2)	p2x=486.003	p2y= 35.984	m2z=8924.031
	n(3)	p3x=486.003	p3y= 35.984	m3z=827.560
Barra 2-- 5	n(2)	p2x=-235.780	p2y= 5.459	m2z=1333.908
	n(5)	p5x=-235.780	p5y= 5.459	m5z=1566.631
Barra 3-- 6	n(3)	p3x=35.984	p3y= 3.683	m3z=827.560
	n(6)	p6x=35.984	p6y= 3.683	m6z=923.881
Barra 4-- 5	n(4)	p4x=-218.301	p4y=-125.107	m4z=24128.474
	n(5)	p5x=-218.301	p5y=-125.107	m5z=3950.616
Barra 5-- 6	n(5)	p5x=-217.372	p5y= 2.211	m5z=1438.695
	n(6)	p6x=-217.372	p6y= 2.211	m6z=1938.161
Barra 5-- 8	n(5)	p5x=-112.884	p5y= 4.831	m5z=-1216.292
	n(8)	p8x=-112.884	p8y= 4.831	m8z=1199.157
Barra 6-- 9	n(6)	p6x=33.773	p6y= 4.130	m6z=1012.361
	n(9)	p9x=33.773	p9y= 4.130	m9z=1052.789
Barra 7-- 8	n(7)	p7x=-1637.061	p7y=-93.254	m7z=2525.848
	n(8)	p8x=-1637.061	p8y=-93.254	m8z=915.301
Barra 8-- 9	n(8)	p8x=-1637.114	p8y=-17.139	m8z=1604.453
	n(9)	p9x=-1637.114	p9y=-17.139	m9z=251.805
Barra 8--11	n(8)	p8x=26.369	p8y= 4.892	m8z=1233.537
	n(11)	p11x=-26.369	p11y= 4.252	m11z=1217.313
Barra 9--12	n(9)	p9x=-16.634	p9y= 4.316	m9z=1199.046
	n(12)	p12x=-16.634	p12y= 4.316	m12z=1209.200
Barra 10--11	n(10)	p10x=-1637.215	p10y=-84.093	m10z=13019.140
	n(11)	p11x=-1637.515	p11y=-84.093	m11z=116.519
Barra 11--12	n(11)	p11x=-1637.799	p11y=-22.085	m11z=2500.479
	n(12)	p12x=-1637.799	p12y=-22.085	m12z=2418.572
Barra 11--14	n(11)	p11x=25.549	p11y= 4.666	m11z=1214.647
	n(14)	p14x=25.549	p14y= 4.666	m14z=1210.244
Barra 12--15	n(12)	p12x= 3.450	p12y= 4.817	m12z=1209.372
	n(15)	p15x= 3.450	p15y= 4.817	m15z=1193.363
Barra 13--14	n(13)	p13x=-1637.931	p13y=-91.299	m13z=13225.246
	n(14)	p14x=-1637.981	p14y=-91.299	m14z=617.051
Barra 14--15	n(14)	p14x=-1638.088	p14y=-18.613	m14z=1837.255
	n(15)	p15x=-1638.068	p15y=-18.613	m15z=2350.665
Barra 14--17	n(14)	p14x=28.235	p14y= 4.373	m14z=1235.062
	n(17)	p17x=28.235	p17y= 4.373	m17z=1503.276
Barra 15--18	n(15)	p15x=24.063	p15y= 4.529	m15z=1151.308
	n(18)	p18x=24.063	p18y= 4.529	m18z=1113.264
Barra 16--17	n(16)	p16x=-1937.918	p16y=-119.111	m16z=3391.026
	n(17)	p17x=-1637.918	p17y=-119.111	m17z=3409.811
Barra 17--18	n(17)	p17x=-1638.319	p17y=-5.893	m17z=-612.437
	n(18)	p18x=-1638.319	p18y=-5.893	m18z=1268.254
Barra 17--20	n(17)	p17x=211.453	p17y= 5.374	m17z=1326.299
	n(20)	p20x=211.453	p20y= 5.374	m20z=1360.670
Barra 18--21	n(18)	p18x=29.266	p18y= 4.018	m18z=1045.090
	n(21)	p21x=29.266	p21y= 4.018	m21z=953.277
Barra 19--20	n(19)	p19x=-824.884	p19y=-176.591	m19z=30672.178
	n(20)	p20x=-824.884	p20y=-176.591	m20z=9060.630
Barra 20--21	n(20)	p20x=-619.510	p20y=29.956	m20z=7708.020
	n(21)	p21x=-619.510	p21y=29.956	m21z=959.879

CM+CVR+VNMB

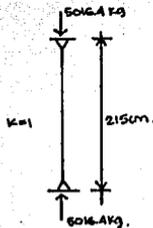
***** FUERZAS EN BARRAS *****

Barra 1-- 2	n(1)	p1x=-365,294	p1y=328,429	m1z=-42364,500
	n(2)	p2x=-365,294	p2y=328,429	m2z=-31536,066
Barra 2-- 3	n(2)	p2x=-363,081	p2y=-141,614	m2z=-30306,580
	n(3)	p3x=-363,081	p3y=-141,614	m3z=932,440
Barra 2-- 5	n(2)	p2x=605,557	p2y=-2,212	m2z=601,387
	n(5)	p5x=605,557	p5y=-2,212	m5z=504,850
Barra 3-- 6	n(3)	p3x=141,614	p3y=-3,219	m3z=-932,440
	n(6)	p6x=141,614	p6y=-3,219	m6z=677,021
Barra 4-- 5	n(4)	p4x=-713,691	p4y=162,622	m4z=-21422,931
	n(5)	p5x=-713,691	p5y=162,622	m5z=-15167,047
Barra 5-- 6	n(5)	p5x=-714,737	p5y=-60,261	m5z=14335,813
	n(6)	p6x=-714,737	p6y=-60,261	m6z=1022,831
Barra 5-- 8	n(5)	p5x=-374,674	p5y=-1,167	m5z=256,313
	n(8)	p8x=374,674	p8y=-1,167	m8z=-256,313
Barra 6-- 9	n(6)	p6x=209,875	p6y=1,182	m6z=-345,859
	n(9)	p9x=209,875	p9y=1,182	m9z=-245,071
Barra 7-- 8	n(7)	p7x=-732,892	p7y=66,167	m7z=-8927,417
	n(8)	p8x=-732,892	p8y=66,167	m8z=-5964,743
Barra 8-- 9	n(8)	p8x=-713,533	p8y=-56,329	m8z=-5964,553
	n(9)	p9x=-713,533	p9y=-56,329	m9z=341,235
Barra 8--11	n(8)	p8x=282,157	p8y=-0,375	m8z=124,978
	n(11)	p11x=-282,157	p11y=-0,375	m11z=62,485
Barra 9--12	n(9)	p9x=236,204	p9y=0,289	m9z=-96,163
	n(12)	p12x=-236,204	p12y=0,289	m12z=-48,092
Barra 10--11	n(10)	p10x=-732,527	p10y=-0,000	m10z=0,000
	n(11)	p11x=-732,527	p11y=-0,000	m11z=-0,000
Barra 11--12	n(11)	p11x=-733,777	p11y=0,000	m11z=0,000
	n(12)	p12x=-733,777	p12y=0,000	m12z=0,000
Barra 11--14	n(11)	p11x=282,157	p11y=0,375	m11z=-62,485
	n(14)	p14x=-282,157	p14y=0,375	m14z=-124,978
Barra 12--15	n(12)	p12x=236,204	p12y=-0,289	m12z=48,092
	n(15)	p15x=236,204	p15y=-0,289	m15z=96,163
Barra 13--14	n(13)	p13x=732,802	p13y=66,187	m13z=8927,417
	n(14)	p14x=-732,802	p14y=66,187	m14z=-5964,749
Barra 14--15	n(14)	p14x=-733,593	p14y=-26,329	m14z=-5964,553
	n(15)	p15x=-733,593	p15y=-26,329	m15z=-341,235
Barra 14--17	n(14)	p14x=374,674	p14y=1,167	m14z=-256,318
	n(17)	p17x=-374,674	p17y=1,167	m17z=-256,334
Barra 15--18	n(15)	p15x=209,875	p15y=-1,182	m15z=245,071
	n(18)	p18x=209,875	p18y=-1,182	m18z=-345,859
Barra 16--17	n(16)	p16x=-713,691	p16y=-162,622	m16z=-21422,931
	n(17)	p17x=-713,691	p17y=-162,622	m17z=15167,047
Barra 17--18	n(17)	p17x=-714,737	p17y=60,261	m17z=-14335,813
	n(18)	p18x=-714,737	p18y=60,261	m18z=-1022,831
Barra 17--20	n(17)	p17x=605,557	p17y=-2,212	m17z=504,850
	n(20)	p20x=605,557	p20y=-2,212	m20z=601,387
Barra 18--21	n(18)	p18x=141,614	p18y=-3,219	m18z=932,440
	n(21)	p21x=141,614	p21y=-3,219	m21z=-677,021
Barra 19--20	n(19)	p19x=-365,294	p19y=328,429	m19z=42364,500
	n(20)	p20x=-365,294	p20y=328,429	m20z=-31536,066
Barra 20--21	n(20)	p20x=-363,081	p20y=141,614	m20z=-30306,580
	n(21)	p21x=-363,081	p21y=141,614	m21z=932,440

DISEÑO DE CUBIERTA.

Armadura: Con el objeto de utilizar conectores-grapa en todos los nudos o uniones de elementos que conforman la armadura, se propondrán secciones de tal manera que todos los elementos tengan un ancho en común.

- Diseño de la cuerda superior (elemento 2-4):



Se propone la sección 10x20cm

cálculo de f_{cd} ;

$$f_{cp} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

incrementos:

- por duración de carga 15% (CM+CVM)
- por condición verde 0%
- por ser $\delta > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

$$f_{cp} = 50(1 + 0.15 + 0.15 - 0.10) = 60 \text{ kg/cm}^2$$

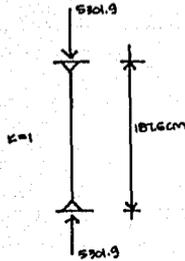
$$KL/b = 1 \times 215 / 10 = 21.5$$

$$\sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{0.3 \times 43000 / 60} = 14.7 < KL/b$$

$$\text{por lo tanto, } f_{cd} = 0.3E / (KL/b)^2 = 0.3 \times 43000 / 21.5^2 = 27.9$$

$$\text{capacidad} = 20 \times 10 \times 27.9 = 5580 > 5016.4 \text{ por lo tanto, pasa.}$$

Elemento 4-6:



proponiendo una sección de 10x15cm

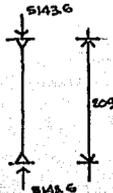
$KL/b = 1 \times 187.6 / 10 = 18.7 > \sqrt{0.3E/f_{cp}}$, por lo tanto $f_{cd} = 0.3E / (KL/b)^2$

$f_{cd} = 0.3 \times 43000 / 18.7^2 = 36.9 \text{ kg/cm}^2$

capacidad = $15 \times 10 \times 36.9 = 5535 > 5301.9$

Ya que los elementos anteriores soportan cargas superiores a los demás elementos de la armadura, podemos pensar en que el ancho común de los elementos sea de 10cm.

- Diseño de la cuerda inferior (elemento 5-7):



Se propone la sección 10x10cm

cálculo de f_{tp} :

$f_{tp} = 70 \text{ kg/cm}^2$

Incrementos:

- por duración de carga 15%

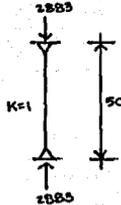
- por condición verde 11%

- por ser $\delta > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

$$f_{tp} = 70(1 + 0.15 + 0.15 - 0.10) = 84 \text{ kg/cm}^2$$

capacidad = $10 \times 10 \times 84 = 8400 > 5143.6$ por lo tanto, pasa.

- Diseño de montantes (elemento 1-2):



Se propone una sección de 10x5

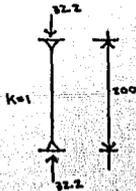
como la combinación de cargas que provoca la condición más desfavorable es CM+CVM, entonces:

$$f_{cp} = 50 \times 1.2 = 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$KL/b = 1 \times 50 / 5 = 10 < \sqrt{0.3E/f_{cp}} \quad \text{por lo tanto, } f_{cd} = f_{cp} = 60 \text{ kg/cm}^2.$$

capacidad = $10 \times 5 \times 60 = 3000 > 2883$ por lo tanto, pasa.

Revisando el elemento 7-8 (montante), bajo la combinación CM+CVR+VIENTO PARALELO MARCO 2, se tiene que:



con sección de 10x5

$$f_{cp} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos

- por duración de carga 50% (CM+CVM+ACCIDENTAL)

- por condición verde 0%
- por ser $\delta > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

$$f_{cp} = 50(1 + 0.50 + 0.15 - 0.10) = 77.5 \text{ kg/cm}^2$$

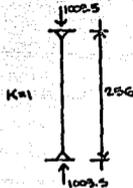
$$KL/b = 1 \times 200 / 5 = 40$$

$$\sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{0.3 \times 43000 / 77.5} = 12.9 < KL/b \text{ por lo que}$$

$$f_{cd} = 0.3 \times 43000 / 40^2 = 8.1 \text{ kg/cm}^2$$

capacidad = $10 \times 5 \times 8.1 = 405 > 32$ por lo tanto, pasa.

- Diseño de diagonales (elemento 6-7):



proponiendo sección de 10×10

como la combinación más desfavorable es CM+CVM entonces:

$$f_{cp} = 50 \times 1.2 = 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$KL/b = 1 \times 256 / 10 = 25.6 > \sqrt{0.3E/f_{cp}} = 14.7$$

$$\text{por lo tanto, } f_{cd} = 0.3 \times 43000 / 25.6^2 = 19.7 \text{ kg/cm}^2$$

capacidad = $10 \times 10 \times 19.7 = 1970 > 1003.5$ por lo tanto, pasa.

En resumen, las secciones finales de los elementos de la armadura son:

- cuerda superior 10×20
- cuerda inferior 10×10
- montantes 10×5
- diagonales 10×10 .

Largueros de cubierta: Las cargas para el diseño de los largueros de cubierta son:

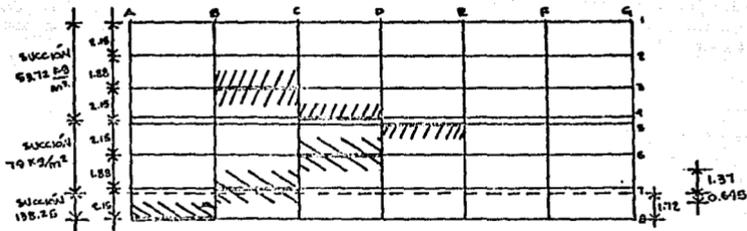
- Carga muerta
 - lámina 35kg/m²
- Carga viva máxima
 - De Reglamento 30kg/m²
- Carga viva reducida
 - De Reglamento 20kg/m²

asf

$$CM + CVM = 35 + 30 = 65 \text{ kg/m}^2$$

$$CM + CVR = 35 + 20 = 55 \text{ kg/m}^2$$

Cuando el viento actúa normal a la generatriz se tiene:



carga lineal en largueros (viento)

$$\text{larguero 8 (tramo A-B)} = 1.075 \times 138.25 = 148.6 \text{ kg/m}$$

$$\text{larguero 7 (tramo B-C)} = 0.645 \times 138.25 + 1.37 \times 79 = 197.4 \text{ kg/m}$$

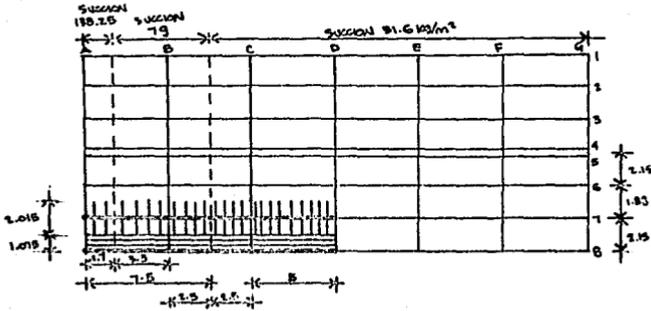
$$\text{larguero 6 (tramo C-D)} = 2.015 \times 79 = 159.2 \text{ kg/m}$$

$$\text{larguero 5 (tramo D-E)} = 1.075 \times 79 = 85 \text{ kg/m}$$

$$\text{larguero 4 (tramo C-D)} = 1.075 \times 53.72 = 57.7 \text{ kg/m}$$

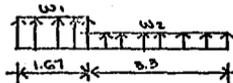
$$\text{larguero 3 (tramo B-C)} = 2.015 \times 53.72 = 108.2 \text{ kg/m}$$

Cuando el viento actúa paralelo a la generatriz se tiene:



larguero 8 (tramo A-B); $w_1 = 1.075 \times 138.25 = 148.6$

$$w_2 = 1.075 \times 7.9 = 8.5$$

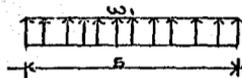


larguero 8 (tramo B-C); $w_1 = 1.075 \times 7.9 = 8.5$

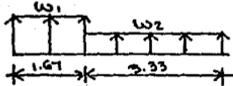
$$w_2 = 1.075 \times 31.6 = 34$$



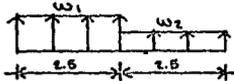
larguero 8 (tramo C-D); $w_1 = 1.075 \times 31.6 = 34$



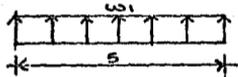
largo 7 (tramo A-B); $w_1 = 2.015 \times 138.25 = 278.6$
 $w_2 = 2.015 \times 79 = 159.2$



largo 7 (tramo B-C); $w_1 = 2.015 \times 79 = 159.2$
 $w_2 = 2.015 \times 31.6 = 63.7$



largo 7 (tramo C-D); $w_1 = 2.015 \times 31.6 = 63.7$



Se diseñará el largo para todas y cada una de las combinaciones anteriores (CM+CVM, CM+CVR, etc...) y se tomará como sección definitiva aquella que resulte ser más "robusta".

Los datos que se manejarán son los siguientes:
 para diseño a flexión:

$f_{bp} = 70 \text{ kg/cm}^2$ (madera de calidad V-65)

Incrementos:

- por duración de carga
 $15\% (\text{CM} + \text{CVM})$ y $50\% (\text{CM} + \text{CVR} + \text{VIENTO})$
- por condición verde 0%
- por ser $\delta > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

para CM+CVM, $f_{bp} = 70(1 + 0.15 + 0.15 - 0.10) = \underline{84 \text{ kg/cm}^2}$

para CM+CVR+VIENTO, $f_{bp}=70(1+0.15+0.50-0.10)=\underline{108.5\text{kg/cm}^2}$

para diseño a cortante:

$f_{vp}=9\text{kg/cm}^2$ (madera calidad V-65)

Incrementos:

- por duración de carga
15%(CM+CVM) y 50%(CM+CVR+VIENTO)
- por condición verde 0%
- por ser $\delta > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

para CM+CVM, $f_{vp}=9(0.15+0.15-0.10+1)=\underline{10.8\text{kg/cm}^2}$

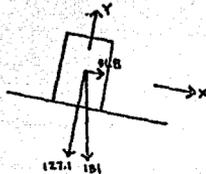
para CM+CVR+VIENTO, $f_{vp}=9(1+0.15+0.50-0.10)=\underline{13.95\text{kg/cm}^2}$

para revisión de deflexión:

$\Delta_{perm}=0.5\text{cm}+L/240$ (por tener una longitud mayor de 3.5m)

$\Delta_{perm}=0.5+500/240=\underline{2.6\text{cm}}$

Se diseñará primero cualquier larguero para la combinación CM+CVM:



sección 10x15

CM+CVM=65kg/m²

$w_t=2.015 \times 65=131\text{kg/m}$

$w_x=131 \cos 14.04=127.1$

$w_y=131 \sin 14.04=31.8$

Revisión por flexión:

$(M_x/S_x)+(M_y/S_y) \leq f_{bd}$

$$M_x = 1.271 \times 500^2 / 8 = 39719 \text{ kg-cm}$$

$$S_x = 10 \times 15^2 / 6 = 375 \text{ cm}^3$$

$$M_y = 0.318 \times 500^2 / 8 = 9937.5$$

$$S_y = 15 \times 10^2 / 6 = 250$$

$$C_k = \sqrt{3E/5f_{bp}} = \sqrt{3 \times 43000 / 5 \times 84} = 17.5$$

$$C_{sx} = 1.4 \sqrt{dL/b^2} = \sqrt{15 \times 500 / 100} = 12.1 < C_k, \text{ por lo que}$$

$$f_{bdx} = f_{bp} (1 - (1/3)(C_{sx}/C_k)^4)$$

sustituyendo valores se tiene que $f_{bdx} = 77 \text{ kg/cm}^2$

$$C_{sy} = 1.4 \sqrt{10 \times 500 / 125} = 6.6 < 10, \text{ por lo que } f_{bdy} = f_{bp} = 84 \text{ kg/cm}^2$$

por lo tanto, el esfuerzo de diseño a flexión es

$$f_{bd} = 77 \text{ kg/cm}^2$$

$$(M_x/S_x) + (M_y/S_y) = (39719/375) + (9937.5/250) = 145.7 > 77, \text{ la sección}$$

no pasa.

proponiendo sección de 15×17.5

$$S_x = 15 \times 17.5^2 / 6 = 765.6$$

$$S_y = 17.5 \times 15^2 / 6 = 656.3$$

$$C_{sx} = 1.4 \sqrt{17.5 \times 500 / 125} = 8.7 < 10, \text{ por lo que } f_{bdx} = 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_{sy} = 1.4 \sqrt{15 \times 500 / 17.5^2} = 7 < 10, \text{ por lo que } f_{bdy} = 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bd} = 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$(M_x/S_x) + (M_y/S_y) = (39719/765.6) + (9937.5/656.3) = 67 < 84, \text{ por lo tanto}$$

pasará.

Revisión por cortante:

$$V = wL/2 = 127.1 \times 5/2 = 317.8 \text{ kg}$$

$$v_{máx} = 3V/2bd = (3 \times 317.8) / (2 \times 15 \times 17.5) = 1.8 < 10.8, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión (δ):

$$\delta_{máx} = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$$

$$\delta_x = 5wL^4 / 384EI_x ; \delta_y = 5wL^4 / 384EI_y$$

$$E=43000\text{kg/cm}^2$$

$$I_x=15 \times 17.5^3 / 12 = 6699.2 \text{cm}^4$$

$$I_y=17.5 \times 15^3 / 12 = 4921.9 \text{cm}^4$$

$$\xi_x = (5 \times 1.271 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 6699.2) = 3.6 ; \xi_x^2 = 12.96$$

$$\xi_y = (5 \times 0.318 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 4921.9) = 1.22 ; \xi_y^2 = 1.49$$

$$\xi_{máx} = \sqrt{12.96 + 1.49} = 3.8 > 2.6, \text{ no pasa}$$

proponiendo una sección 15x20 y revisando solamente la deflexión se tiene:

$$I_x=10000\text{cm}^4$$

$$I_y=5625\text{cm}^4$$

$$\xi_x = (5 \times 1.271 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 10000) = 2.3 ; \xi_x^2 = 5.29$$

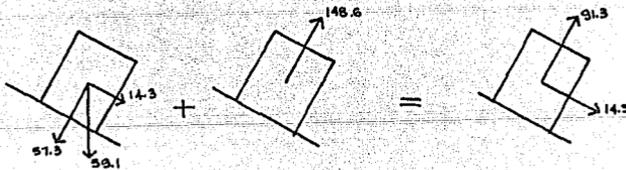
$$\xi_y = (5 \times 0.318 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 5625) = 1.05 ; \xi_y^2 = 1.10$$

$$\xi_{máx} = \sqrt{5.29 + 1.1} = 2.5 < 2.6, \text{ pasa.}$$

15x20

Larguero 8 (tramo A-B):

CN+CVR+VIENTO NORMAL



$$\text{CN+CVR}=55\text{kg/m}^2$$

$$\text{VIENTO}=148.6\text{kg/m}$$

$$55 \times 1.075 = 59.1$$

$$59 \sin 14.04 = 14.3$$

$$59 \cos 14.04 = 57.3$$

sección 10x15

Revisión por flexión:

$$(M_x/S_x) + (M_y/S_y) \leq f_{bd}$$

$$M_x = 0.913 \times 500^2 / 8 = 28531.3$$

$$S_x = 10 \times 15^2 / 6 = 375$$

$$M_y = 0.143 \times 500^2 / 8 = 4468.8$$

$$S_y = 15 \times 10^2 / 6 = 250$$

$$f_{bp} = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_{sx} = 1.4 \sqrt{15 \times 500 / 100} = 12.1$$

$$C_k = \sqrt{3 \times 43000 / 5 \times 108.5} = 15.4 \quad \text{por lo que}$$

$$f_{bdx} = 108.5 (1 - (1/3) (12.1 / 15.4)^4) = 94.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_{sy} = 1.4 \sqrt{10 \times 500 / 125} = 6.6 < 10, \text{ por lo que } f_{bdy} = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{asf, } f_{bd} = 94.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$(M_x/S_x) + (M_y/S_y) = (28531.3 / 375) + (4468.8 / 250) = 93.9 < 94.7, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V = 91.3 \times 5 / 2 = 228 \text{ kg}$$

$$v_{\text{máx}} = 3V / 2bd = (3 \times 228) / (2 \times 10 \times 15) = 2.28 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$\xi_{\text{máx}} = \sqrt{\xi_x^2 + \xi_y^2}$$

$$\xi = 5wL^4 / 384EI$$

$$I_x = 10 \times 15^3 / 12 = 2812.5 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 15 \times 10^3 / 12 = 1250 \text{ cm}^4$$

$$\xi_x = (5 \times 0.913 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 2812.5) = 6.1 ; \xi_x^2 = 37.7$$

$$\xi_y = (5 \times 0.143 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 1250) = 2.2 ; \xi_y^2 = 4.84$$

$$\xi = \sqrt{37.7 + 4.84} = 6.5 > 2.6, \text{ no pasa.}$$

como la deflexión rige en el diseño, propondremos una sección de 15×17.5 y revisaremos solamente la deflexión:

$$I_x = 15 \times 17.5^2 / 12 = 667 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 17.5 \times 15^3 / 12 = 4922 \text{ cm}^4$$

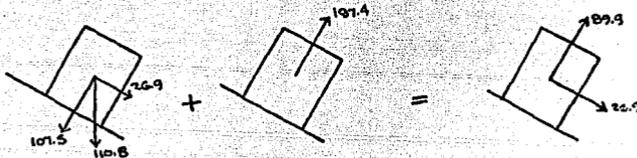
$$i_x = (5 \times 0.913 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 6670) = 2.5 ; i_x^2 = 6.25$$

$$i_y = (5 \times 0.143 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 4922) = 0.50 ; i_y^2 = 0.25$$

$$i = \sqrt{6.25 + 0.25} = 2.55 < 2.6, \text{ pasa.}$$

15x17.5

Largureo 7 (tramo B-C); CM+CVR+VIENTO NORMAL.



$$55 \times 2.015 = 110.8$$

$$110.8 \sin 14.04 = 26.9$$

$$110.8 \cos 14.04 = 107.5$$

proponiendo sección 15x17.5

Revisión por flexión:

$$M_x = (0.899 \times 500^2) / 8 = 28094$$

$$S_x = (15 \times 17.5^2) / 6 = 766$$

$$M_y = (0.269 \times 500^2) / 8 = 8406$$

$$S_y = (17.5 \times 15^2) / 6 = 656$$

$$f_{bd} = 108.5$$

$$C_{sx} = 1.4 \sqrt{17.5 \times 500 / 15^2} = 8.7 < 10, f_{bdx} = 108.5$$

$$C_{sy} = 1.4 \sqrt{15 \times 500 / 17.5^2} = 6.9 < 10, f_{bdy} = 108.5$$

$$f_{bd} = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$(M_x / S_x) + (M_y / S_y) = (28094 / 766) + (8406 / 656) = 49.5 < 108.5, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V = 89.9 \times 5 / 2 = 22.5$$

$$v_{\text{máx}} = 3V / 2bd = (3 \times 22.5) / (2 \times 15 \times 17.5) = 1.3 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$I_x = 15 \times 17.5^3 / 12 = 6699$$

$$I_y = 17.5 \times 15^3 / 12 = 4922$$

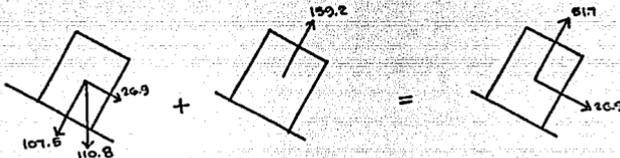
$$\xi_x = (5 \times 0.899 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 6699) = 2.54 ; \xi_x^2 = 6.45$$

$$\xi_y = (5 \times 0.269 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 4922) = 1 ; \xi_y^2 = 1$$

$$\xi = \sqrt{6.45 + 1} = 2.7 \approx 2.6, \text{ pasa.}$$

15x17.5

Larguero 6 (tramo C-D); CM+CVR+VIENTO NORMAL.



$$2.015 \times 55 = 110.8$$

$$110.8 \sin 14.04 = 26.9$$

$$110.8 \cos 14.04 = 107.5$$

proponiendo sección 15x15

Revisión por flexión:

$$M_x = (0.517 \times 500^2) / 8 = 16157$$

$$S_x = 15 \times 15^2 / 6 = 562.5$$

$$M_y = (0.269 \times 500^2) / 8 = 8407$$

$$S_y = 15 \times 15^2 / 6 = 562.5$$

$$f_{bp} = 108.5$$

$$C_{sx} = 1.4 \sqrt{15 \times 500 / 15^2} = 8.1 < 10$$

$$f_{bdx} = f_{bdy} = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$(M_x / S_x) + (M_y / S_y) = (16157 / 562.5) + (8407 / 562.5) = 44 < 108.5, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V = 51.7 \times 5 / 2 = 130 \text{ kg}$$

$$v_{\max} = (3 \times 130) / (2 \times 15 \times 15) = 0.9 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$I_x = I_y = 15 \times 15^3 / 12 = 4219 \text{ cm}^4$$

$$\xi_x = (5 \times 0.517 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 4219) = 2.3 ; \xi_x^2 = 5.29$$

$$\xi_y = (5 \times 0.269 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 4219) = 1.2 ; \xi_y^2 = 1.44$$

$$\xi = \sqrt{5.29 + 1.44} = 2.6 = 2.6, \text{ pasa.}$$

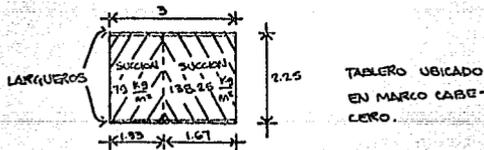
15x15

Siguiendo con el criterio de diseño anteriormente expuesto, se determinó que la sección más robusta resultó ser de 15x20, por lo que se usarán, en la cubierta, largueros de 15x20.

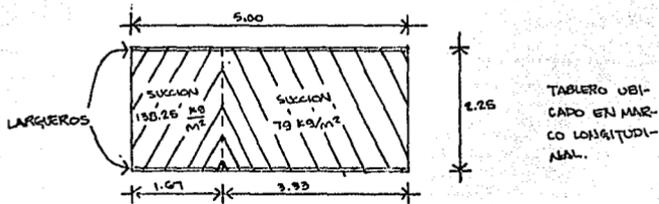
Largueros de fachada: Los largueros de fachada son elementos horizontales que tienen como función servir de apoyo a los tableros de madera ubicados en la fachada, por lo tanto, para diseñar dichos largueros será necesario diseñar primero los tableros.

- DISEÑO DE TABLEROS DE MADERA MACIZA:

Se presenta a continuación el diseño de tableros de madera maciza considerando que éstos solamente están expuestos a la carga producida por el viento, ya sea normal ó paralela a la generatriz. Cuando el viento actúa normal a la generatriz, el tablero que soporta mayor peso por unidad de área es:



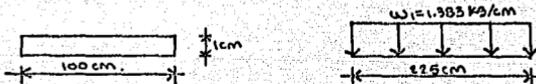
Cuando el viento actúa paralelo a la generatriz, el tablero que soporta mayor peso por unidad de área es:



Los tableros se pueden considerar como elementos trabajando únicamente a flexión y simplemente apoyados (donde los largueros son los apoyos). De manera que se diseñarán con el mismo criterio utilizado en el diseño de largueros, considerando -- que la relación peralte-ancho será muy pequeña.

Es muy importante hacer notar que los tableros deberán de estar colocados de tal forma que la dirección de sus fibras sean perpendiculares a los apoyos, ya que así se aprovechará al máximo nuestro elemento.

Considerando un ancho unitario (100cm) y proponiendo un espesor de 1cm se tiene:



$$w_1 = 138.25 \times 1 = 138.25 \text{ kg/m} = 1.383 \text{ kg/cm}$$

$$M = 1.383 \times 225^2 / 8 = 8752 \text{ kg-cm}$$

$$S = 100 \times 1^2 / 6 = 16.7 \text{ cm}^3$$

$$I = 100 \times 1^3 / 12 = 8.3 \text{ cm}^4$$

Revisión por flexión:

$$f_{bp} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos:

- por duración de carga 50%

- por ser $\delta > 0.40$ 15%

- por tratamiento -10%

$$fbp=70 \times 1.55=108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$M/S=8752/16.7=524 > 108.5, \text{ no pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V=1.383 \times 225/2=156 \text{ kg}$$

$$vmáx=3V/2bd=(3 \times 156)/(2 \times 100 \times 1)=2.34 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$\xi p=L/250=225/250=0.9 \text{ cm}$$

$$\xi=(5 \times 1.383 \times 225^4)/(384 \times 43000 \times 8.3)=129 > 0.9, \text{ no pasa.}$$

Como podrá observarse la condición que rige el diseño es la deflexión, por lo que será necesario determinar un momento de inercia requerido con el objeto de obtener una deflexión menor ó igual al permisible, es decir, cumplir con el estado límite de servicio correspondiente, así:

$$0.9=(5 \times 1.383 \times 225^4)/(384 \times 43000 \times I_r) \quad ; \quad I_r=1192.6 \text{ cm}^4$$

si $I_r=bd^3/12$ y $b=100 \text{ cm}$, entonces $d=5.2 \text{ cm}$ que es un espesor muy grande.

Disminuyendo la longitud del elemento (distancia entre largueros) a la mitad, se tiene que:

$$L=112.5 \text{ cm}$$

$$\xi=(5 \times 1.383 \times 112.5^4)/(384 \times 43000 \times 8.3)=8 > 0.9, \text{ no pasa.}$$

si calculamos un momento de inercia requerido resulta que

$$0.9=(5 \times 1.383 \times 112.5^4)/(384 \times 43000 \times I_r) \quad ; \quad I_r=75 \text{ cm}^4$$

si $I_r=bd^3/12$ y $b=100$, entonces $d=2.1 \text{ cm}$

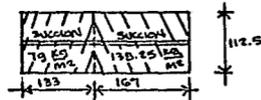
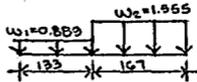
Por lo tanto, se usarán tableros de madera maciza con un espesor de 2.1 cm y los largueros de fachada estarán separados a cada 112.5 cm.

- DISEÑO DE LARGUEROS DE FACHADA:

Una vez diseñados los tableros de madera y haber determinado la separación entre largueros, estamos en posibilidad de

diseñar los mismos considerando que éstos estarán sujetos a la carga producida por el viento a las producidas por su peso propio y el de los tableros.

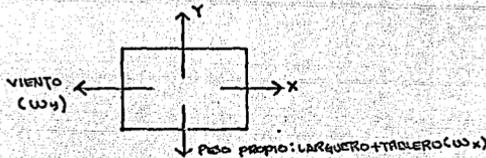
Cuando el viento actúa normal a la generatriz, el larguero que soporta mayor carga por éste concepto es: (larguero ubicado en marco cabecero)



$$w1 = 79 \times 1.125 = 88.9 \text{ kg/m} = 0.889 \text{ kg/cm}$$

$$w2 = 138.25 \times 1.125 = 155.5 \text{ kg/m} = 1.555 \text{ kg/cm}$$

Nótese que éstos largueros están trabajando a flexión biaxial, es decir, existe flexión en el plano horizontal producida por el viento y flexión en el plano vertical producido por el peso propio del mismo y de los tableros, así:



proponiendo sección de 12.5x15

$$P_o P_o \text{ de larguero} = 0.125 \times 0.15 \times 450 = 8.4 \text{ kg/m}$$

$$P_o P_o \text{ de tablero} = 0.02 \times 1.125 \times 450 = 10.1 \text{ kg/m}$$

$$w_x = 8.4 + 10.1 = 18.5 \text{ kg/m} = 0.185 \text{ kg/cm}$$

Revisión por flexión:

$$M_y = 14670 \text{ kg-cm}$$

$$S_y = 12.5 \times 15^2 / 6 = 469 \text{ cm}^3$$

$$M_x = 0.185 \times 300^2 / 8 = 2082 \text{ kg-cm}$$

$$S_x = 15 \times 12.5^2 / 6 = 391 \text{ cm}^3$$

$$f_{bp} = 70 \times 1.55 = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_{sx} = 1.4 \sqrt{12.5 \times 300 / 15^2} = 6 < 10, \quad f_{bdx} = 108.5$$

$$C_{sy} = 1.4 \sqrt{15 \times 300 / 12.5^2} = 7.5 < 10, \quad f_{bdy} = 108.5$$

por lo tanto, $f_{bd} = 108.5 \text{ kg/cm}^2$

$$(M_x/S_x) + (M_y/S_y) = (2082/397) + (14670/469) = 37 < 108.5, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$f_{vp} = 9 \times 1.55 = 13.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$V = 213.6 \text{ kg}$$

$$v_{máx} = (3 \times 213.6) / (2 \times 12.5 \times 15) = 1.7 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$\xi_x = \text{por el método de la viga conjugada} = 0.99; \quad \xi_x^2 = 0.98$$

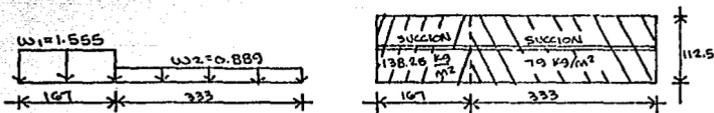
$$\xi_y = (5 \times 0.185 \times 300^4) / (384 \times 43000 \times 2441.1) = 0.19; \quad \xi_y^2 = 0.036$$

$$I_y = 15 \times 12.5^3 / 12 = 2441.1 \text{ cm}^4$$

$$\xi = \sqrt{0.98 + 0.036} = 1 < \xi_p = 0.004 \times 300 = 1.2, \text{ pasa.}$$

por lo tanto, se usarán largueros de 12.5x15 en fachadas de marcos cabeceros.

Por otro lado, cuando el viento actúa paralelo a la generatriz, el larguero que soporta mayor carga por este concepto es:



$$w_1 = 1.125 \times 138.25 = 1.555 \text{ kg/cm}$$

$$w_2 = 1.125 \times 79 = 0.889 \text{ kg/cm}$$

proponiendo sección de 15x20 tenemos lo siguiente:

PoPo de larguero=0.15x0.20x450=13.5kg/m

PoPo de tablero=0.02x1.125x450=10.1kg/m

wx=13.5+10.1=23.6kg/m=0.236kg/cm

Revisión por flexión:

My=32666.5kg-cm

Sy=15x20²/6=1000cm³

Mx=0.236x500²/8=7375kg-cm

Sx=20x15²/6=750cm³

f_{bp}=70x1.55=108.5kg/cm²

Csx=1.4 $\sqrt{15x500/20^2}$ =6 < 10

Csy=1.4 $\sqrt{20x500/15^2}$ =9.3 < 10

por lo tanto; f_{bd}=108.5kg/cm²

(Mx/Sx)+(My/Sy)=(7375/750)+(32666.5/1000)=42.5 < 108.5, pasa.

Revisión por cortante:

V=314.7kg

vmáx=(3x314.7)/(2x15x20)=1.6 < f_{vp}=9x1.55=13.95, pasa.

Revisión por deflexión:

δ_x=por el método de la viga conjugada=2.1 ; δ_x²=4.41

Iy=20x15³/12=5625cm⁴

δ_y=(5x0.236x500⁴)/(384x43000x5625)=0.79 ; δ_y²=0.62

δ_p=0.5+L/240 (por ser elemento con longitud mayor de 3.5m)

δ_p=0.5+500/240=2.6cm

δ = 4.41+0.62 =2.3 < 2.6, pasa.

por lo tanto, se usarán largueros de 15x20cm en fachadas de marcos longitudinales.

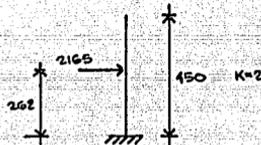
Columnas de viento: Las columnas de viento tienen como finalidad dar apoyo a los largueros de fachada, mismos que soportan a los tableros de madera que conforman la fachada del almacén.

Se considera que las columnas de viento actúan independientemente de la estructura, trabajando en cantiliver, es decir, empotradas en su base y libres en su extremo superior

La carga que soportan es la correspondiente al de su área tributaria ante la acción del viento, misma ya calculada en el análisis por viento de la estructura.

- DISEÑO DE COLUMNAS DE VIENTO:

La condición más desfavorable para éstos elementos se presenta cuando el viento actúa normal a la generatriz, así se tiene que:



proponiendo sección de 35x40cm

Revisión por flexión:

$$f_{bp} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos:

- por duración de carga 50% (carga accidental)
- por condición verde 0%
- por ser $\delta > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

$$f_{bp} = 70(1 + 0.50 + 0.15 - 0.10) = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$M = 2165 \times 262 = 567230 \text{ kg-cm}$$

$$S = 35 \times 40^2 / 6 = 9333.3 \text{ cm}^3$$

por ser $d > 30 \text{ cm}$

$$C_f = (0.81)(d^2 + 922) / (d^2 + 568) = (0.81)(40^2 + 922) / (40^2 + 568) = 0.94$$

$$f_{cd} = f_{bp} C_f = 108.5 \times 0.94 = 102 \text{ kg/cm}^2$$

$$M/S=567230/9333.3=60.8 < 102, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V=2165\text{kg}$$

$$v_{\text{máx}}=3 \times 2165 / (2 \times 40 \times 35) = 2.3 < f_{vp} = 9(1 + 0.50 + 0.15 - 0.10) = 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$I = 35 \times 40^3 / 12 = 186667 \text{ cm}^4$$

$$E = 43000 \text{ kg/cm}^2$$

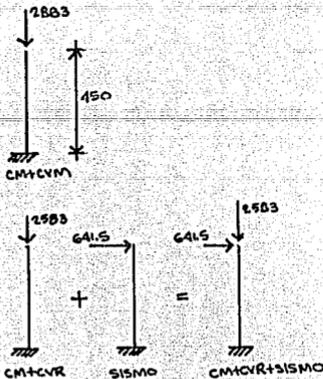
$$\xi_p = 0.008h = 0.008 \times 450 = 3.6 \text{ cm}$$

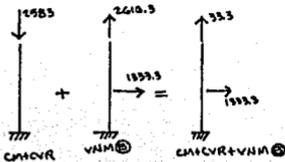
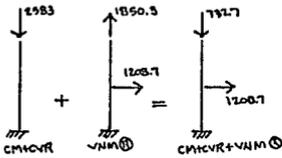
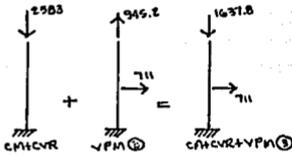
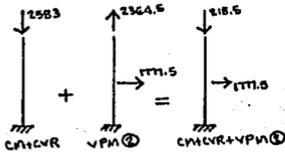
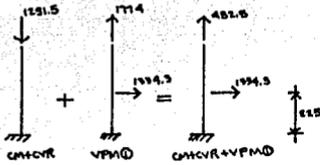
$$\xi = (2165 \times 262^2) / (6 \times 43000 \times 186667) = 3.3 < 3.6, \text{ pasa.}$$

- DISEÑO DE COLUMNAS:

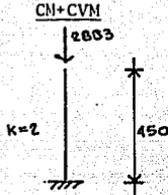
Como puede observarse, las columnas que componen los marcos longitudinales no presentan condición crítica al compararse con las columnas de los marcos transversales, por lo que se considerarán, para el diseño de éstas, la de los marcos transversales.

Las condiciones de carga a las que puede estar sujeta una columna de cualquier marco transversal son:





A continuación se realiza el diseño para definir sección definitiva de columnas.



para esta combinación de carga la columna se considera a flexocompresión ya que aún cuando no esté actuando una carga horizontal -- que provoque flexión, ésta estará definida por la excentricidad -- mínima.

Proponiendo sección de 40x40

Revisión por flexocompresión:

$$\left(\frac{P}{A_n}\right)/f_{cd} + \left(\frac{M}{S}\right) + \left(\frac{P}{A_n}\right)(6e\phi/d)/f_{bd}C_f \leq 1$$

$$f_{cp} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos:

- por duración de carga 15%
- por condición verde 0%
- por ser $\phi > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

$$f_{cp} = 50(1 + 0.15 + 0.15 - 10) = 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{0.3 \times 43000/60} = 14.7$$

$$KL/b = 2 \times 450/40 = 22.5 > 14.7, \text{ por tanto } f_{cd} = 0.3 \times 43000/22.5^2 = \underline{25.5 \text{ kg/cm}^2}$$

$$P = 2883 \text{ kg}$$

$$A_n = 40 \times 40 = 1600 \text{ cm}^2$$

$$(P/A_n)/f_{cd} = (2883/1600)/25.5 = 0.1$$

$$M/S = 0$$

$$e_{\min} = 0.1 \times 40 = 4 \text{ cm}$$

$\beta = 1.25$ por tratarse de columna larga

$$6e\beta/d = (6 \times 4 \times 1.25)/40 = 0.75$$

$$f_{bp} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos:

- por duración de carga 15%
- por condición verde 0%
- por ser $d > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

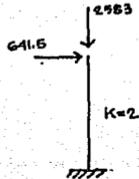
$$f_{bp} = 70(1 + 0.15 + 0.15 - 0.10) = \underline{84 \text{ kg/cm}^2}$$

$$C_s = 1.4 \sqrt{dL/b^2} = 1.4 \sqrt{40 \times 450/40^2} = 4.7 < 10, \text{ por lo tanto } f_{bd} = \underline{84 \text{ kg/cm}^2}$$

$$C_f = (0.81)(40^2 + 922)/(40^2 + 568) = 0.94, \text{ por ser } d > 30 \text{ cm.}$$

sustituyendo

$$(0.1) + (1.8 \times 0.75)/(84 \times 0.94) = 0.12 < 1, \text{ pasa.}$$

- CM+CVR+SI SMO:

proponiendo sección de 40x40 se tiene lo siguiente:

$$f_{cp} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos:

- por duración de carga 50%
- por condición verde 0%
- por ser $\delta > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

$$f_{cp} = 50(1 + 0.50 + 0.15 - 0.10) = 77.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{0.3 \times 43000 / 77.5} = 13$$

$$KL/b = 2 \times 450 / 40 = 22.5 > 13, \text{ por lo que } f_{cd} = 0.3 \times 43000 / 22.5^2 = 25.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$P/An = 2583 / 16000 = 1.6$$

$$(P/An) / f_{cd} = 1.6 / 25.5 = 0.1$$

$$M/S = (641.5 \times 450) / (40 \times 40^2) = 27.1$$

$$e = 0.1 \times 40 = 4$$

$$\beta = 1.25 \text{ (columna larga)}$$

$$6e\beta/d = (6 \times 4 \times 1.25) / 40 = 0.75$$

$$f_{bp} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos:

- ,por duración de carga 50%
- por condición verde 0%
- por ser $\delta > 0.40$ 15%

- por tratamiento -10%

$$f_{bp} = 70(1 + 0.50 + 0.15 - 0.10) = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_s = 1.4 \sqrt{dL/b^2} = 1.4 \sqrt{40 \times 450 / 40^2} = 4.7 < 10, \quad f_{bd} = \underline{108.5 \text{ kg/cm}^2}$$

$$C_f = (0.81)(40^2 + 922) / (40^2 + 568) = 0.94$$

sustituyendo en la fórmula de flexocompresión se tiene

$$0.1 + (27.1 + 1.6 \times 0.75) / (108.5 \times 0.94) = 0.38 < 1, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$f_{vp} = 9 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos:

- por duración de carga 50%

- por ser $\xi > 0.40$ 15%

- por tratamiento -10%

$$f_{vp} = 9(1 + 0.50 + 0.15 - 0.10) = \underline{13.95 \text{ kg/cm}^2}$$

$$V = 641.5 \text{ kg}$$

$$v_{m\acute{a}x} = 3V/2bd = (3 \times 641.6) / (2 \times 40 \times 40) = 0.6 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

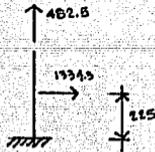
$$\xi_p = 0.008h = 0.008 \times 450 = \underline{3.6 \text{ cm}}$$

$$\xi = PL^3/3EI$$

$$I = 40 \times 40^3 / 12 = 213333.3 \text{ cm}^4$$

$$\xi = (641.5 \times 450^3) / (3 \times 43000 \times 213333.3) = 2.2 < 3.6, \text{ pasa.}$$

- CM+CVR+VPM1



proponiendo sección de 40x40 se tiene que:

Revisión por flexotensión:

$$\left(\frac{T}{A_n}\right)/f_{tp} + \left(\frac{M/S}{f_{bd}C_f}\right) < 1$$

$$T = 482.5 \text{ kg}$$

$$A_n = 1600 \text{ cm}^2$$

$$T/A_n = 0.3$$

$$f_{tp} = 70 \text{ kg/cm}^2$$

Incrementos:

- por duración de carga 50%
- por condición verde 0%
- por ser $\delta > 0.40$ 15%
- por tratamiento -10%

$$f_{tp} = f_{bd} = 70(1 + 0.50 + 0.15 - 0.10) = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$M/S = (225 \times 1334.3) / (40 \times 40^2 / 6) = 28.2$$

$$C_f = 0.94$$

sustituyendo en la fórmula de flexotensión

$$(0.3/108.5) + (28.2/108.5 \times 0.94) = 0.3 < 1, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V = 1334.3 \text{ kg}$$

$$v_{máx} = (3 \times 1334.3) / (2 \times 40 \times 40) = 1.25 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

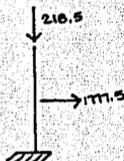
$$\delta_p = 3.6 \text{ cm}$$

$$\delta = Pb^2(3L-b)/6EI$$

con $L = 450$ y $b = 225$

$$\delta = (1334.3 \times 225^2) (3 \times 450 - 225) / (6 \times 43000 \times 213333.3) = 1.4 < 3.6, \text{ pasa.}$$

CN+CVR+VPM2



proponiendo sección de 40x40

Revisión por flexocompresión:

$$P/An=0.12$$

$$fcd=25.5\text{kg/cm}^2$$

$$M/S=(225 \times 1777.5)/(40 \times 40^2/6)=37.5$$

$$6e\beta/d=0.75$$

$$fbd=108.5$$

$$Cf=0.94$$

sustituyendo en la fórmula de flexocompresión

$$(0.12)/(25.5)+(37.5+0.12 \times 0.75)/(108.5 \times 0.94)=0.37 < 1, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V=1777.5\text{kg}$$

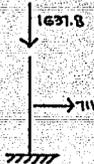
$$vmdx=(3 \times 1777.5)/(2 \times 40 \times 40)=1.7 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$\delta p=3.6\text{cm}$$

$$\delta=(1777.5 \times 225^2)/(6 \times 43000 \times 213333.3)=1.84 < 3.6, \text{ pasa.}$$

- CM+CVR+VPN3:



proponiendo sección de 40x40 se tiene que:

Revisión por flexocompresión:

$$P/An=1.02 ; fcd=25.5$$

$$M/S=(225 \times 711)/(40 \times 40^2/6)=15$$

$$6e\beta/d=0.75$$

$$fbd=108.5$$

$$Cf=0.94$$

sustituyendo en la fórmula de flexocompresión

$$(1.02/25.5)+(15+1.02 \times 0.75)/(108.5 \times 0.94)=0.19 < 1, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

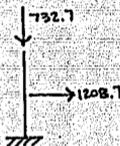
$$V=711$$

$$vmáx=(3 \times 711/2 \times 40 \times 40)=0.7 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$\delta=(711 \times 225^2)(3 \times 450 - 225)/(6 \times 43000 \times 213333.3)=0.73 < 3.6, \text{ pasa.}$$

- CN+CVR+VNM-A:



proponiendo sección de 40x40 se tiene que:

Revisión por flexocompresión:

$$P/An=0.46 ; fcd=25.5$$

$$M/S=(1208.7 \times 225)/(10666.7)=25.5$$

$$6e\beta/d=0.75$$

$$fbd=108.5$$

$$Cf=0.94$$

sustituyendo en la fórmula de flexocompresión

$$(0.46/25.5)+(25.5+0.46 \times 0.75)/(108.5 \times 0.94)=0.27 < 1, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V=1208.7$$

$$vmáx=(3 \times 1208.7)/(2 \times 40 \times 40)=1.13 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

$$\xi = (1208.7 \times 225^2) / (6 \times 43000 \times 213333.3) = 1.25 < 3.6, \text{ pasa.}$$

- CM+CVR+VNM-B:



proponiendo sección de 40x40 se tiene que:

Revisión por flexotensión:

$$T/A_n = 0.02 ; f_{tp} = f_{bd} = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$M/S = (225 \times 1333.3) / (10666.7) = 28.1$$

$$C_f = 0.94$$

sustituyendo en la fórmula de flexotensión:

$$(0.02 / 108.5) + (28.1 / 108.5 \times 0.94) = 0.28 < 1, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V = 1333.3$$

$$v_{máx} = (3 \times 1333.3) / (2 \times 40 \times 40) = 1.25 < 13.95, \text{ pasa.}$$

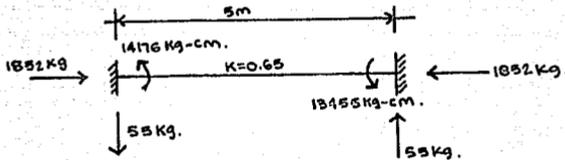
Revisión por deflexión:

$$\xi = (1333.3 \times 225^2) / (6 \times 43000 \times 213333.3) = 1.4 < 3.6, \text{ pasa.}$$

Por todos los cálculos efectuados anteriormente, se concluye que se usarán columnas con una sección de 40x40cm.

- DISÑO DE TRABES:

Como puede observarse, la trabe que se encuentra bajo las condiciones de carga más desfavorable (según análisis) es el elemento 3-6, así:



proponiendo sección de 15x20 se tiene que:

Revisión por flexocompresión:

$$f_{cp} = 50 \times 1.55 = 77.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bp} = 70 \times 1.55 = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$P/An = 1852 / ((15 \times 20)) = 6.7$$

$$\sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{0.3 \times 43000 / 77.5} = 13$$

$$KL/b = 0.65 \times 500 / 15 = 21.7 > 13 ; f_{cd} = 0.3 \times 43000 / 21.7^2 = 27.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$(P/An) / f_{cd} = 6.7 / 27.4 = 0.23$$

$$M/S = (14176) / ((15 \times 20^2) / 6) = 14.2$$

$$e = 0.1 \times 20 = 2$$

$$\beta = 1.25 \text{ (por ser columna larga)}$$

$$d = 20$$

$$6e\beta/d = 0.75$$

$$C_s = 1.4 \sqrt{20 \times 500 / 15^2} = 9.3 < 10, \text{ por lo que } f_{bd} = 108.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_f = 1 \text{ (por ser } d < 30 \text{ cm)}$$

sustituyendo:

$$0.23 + (14.2 + 6.17 \times 0.75) / (108.5 \times 1) = 0.5 < 1, \text{ pasa.}$$

Revisión por cortante:

$$V = 55 \text{ kg}$$

$$f_{vp} = 9 \times 1.55 = 13.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_{\text{máx}} = (3 \times 55) / (2 \times 15 \times 20) = 0.3 < 13.95, \text{ pasa.}$$

Revisión por deflexión:

por peso propio se tiene lo siguiente

$$0.15 \times 0.20 \times 450 = 13.5 \text{ kg/m} = 0.135 \text{ kg/cm} = w$$

$$\delta p = 0.5 \text{ cm} + L/240 = 0.5 + 500/240 = 2.6 \text{ cm}$$

$$I = 15 \times 20^3 / 12 = 10000 \text{ cm}^4$$

$$\delta = wL^4 / 384EI = (0.135 \times 500^4) / (384 \times 43000 \times 10000) = 0.05 < 2.6, \text{ pasa.}$$

Por lo tanto, se usarán trabes de 15x20cm.

- UNIONES:

Las uniones entre los elementos de una estructura juegan un papel importante en el diseño de la misma, ya que una variación en éste concepto puede causar serios problemas en cuanto a su comportamiento, es decir, en el momento de realizar el análisis de un elemento debemos de considerar que la unión real sea similar a la unión idealizada en el análisis. En nuestro caso, el dimensionamiento de las uniones es uno de los aspectos más importantes del diseño de estructuras de madera.

Como se mencionó anteriormente, el diseño de las uniones es un tema bastante extenso, razón por la cual se mostrará a continuación únicamente la posible solución.

Cabe señalar que el comportamiento de las uniones depende de las características de la madera, sin embargo, dada la escasa información sobre las uniones en especies mexicanas, las recomendaciones que se dan a continuación son las mencionadas en las Normas Técnicas Complementarias que son conservadoras y aplicables a cualquier especie.

En el plano 0.1 se muestran los detalles de las uniones de la estructura en donde, haciendo referencia al mismo, se harán las siguientes consideraciones:

Detalles 1, 2, 3, 4, 5 y 6: Estas uniones, que corresponden a los elementos que conforman la armadura, se harán utilizando conectores-grapa según dimensiones mostradas. Cabe señalar que éstos son colocados exclusivamente con prensa hidráulica para su mayor seguridad estructural (ref. 10).

Detalle 7: Esta unión, como puede observarse, se hará introduciendo la trabe en la columna utilizando como pegamento resinas fenólicas que constituyen el pegamento más satisfactorio desde el pun

to de vista resistencia y durabilidad. Resisten la humedad.

Detalles 8,9 y 11: Estas uniones se harán utilizando ángulos de placa "T" y pernos, cuyas dimensiones se muestran en el plano 6.1. Cabe señalar que los conectores metálicos utilizados (conectores-grapa y ángulos de placa "T") se fabrican sobre medida de acuerdo a los datos arquitectónico y estructural.

Otro aspecto importante es que, los ángulos de placa -- "T" están dimensionados considerando lo siguiente (ref. 1):

Espaciamiento entre pernos:

- 1.5D entre hileras de pernos (D=diámetro del perno).
- 4D del extremo
- 1.5D de los bordes

Detalle 10: Se utilizará para éste tipo de unión un sistema a base de placas soldadas, anclas y pernos tal como se indica en el plano 6.1. Un aspecto a cuidar en el diseño de los apoyos de columnas de madera sobre sus cimientos, es la protección contra el riesgo de acumulación de agua en la base con detalles que aseguren un drenaje eficiente. Cuando la columna descansa sobre mampostería ó concreto conviene apoyarla sobre una placa metálica.

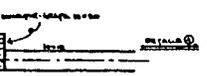
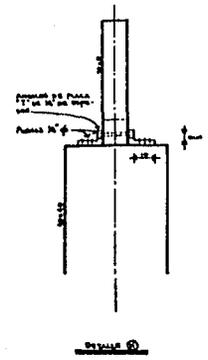
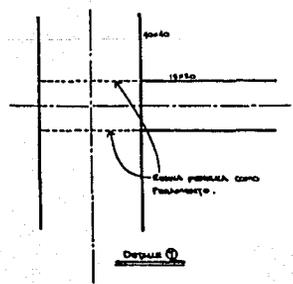
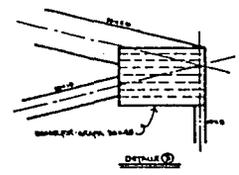
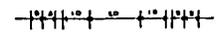
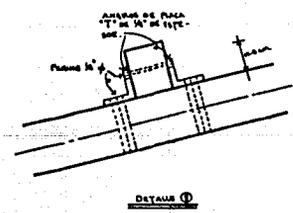
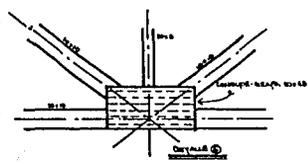
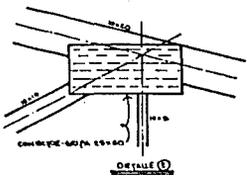
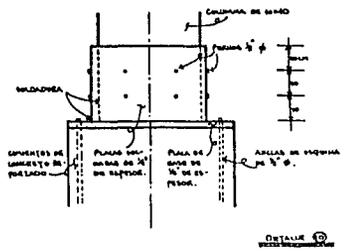
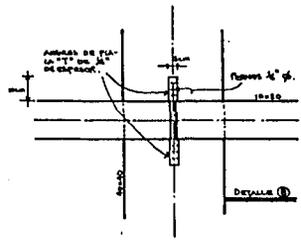
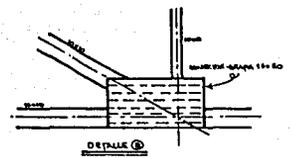
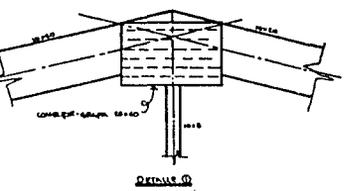
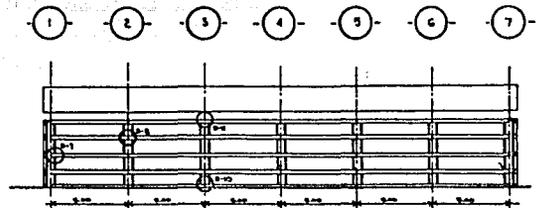
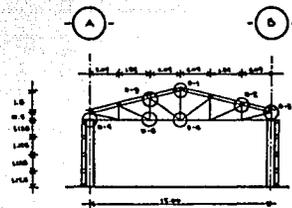
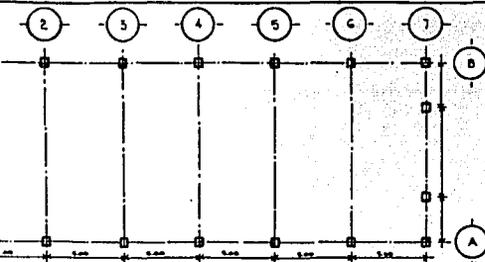
Por desgracia, no es fácil de lograr en columnas de madera la restricción al giro, sin embargo, el sistema utilizado en el presente trabajo proporciona cierto grado de restricción que puede considerársele en el análisis como empotramiento.

Conclusiones.-

Para incrementar el uso eficiente de la madera como elemento estructural en zonas donde ésta es abundante y como una alternativa adicional al concreto y el acero, es necesario elevar el nivel de información disponible, que se logra si existe una difusión más intensa del recurso renovable en cuestión. Pero para lograr que se lleve a cabo dicha labor, es necesario un número cada vez mayor de profesionistas interesados en el tema que vean en la madera un elemento estructural eficiente; por lo que se considera que el trabajo de recopilación realizado en ésta tesis es necesario, entre otras formas, para introducir en su estudio a estudiantes de Ingeniería y Arquitectura de ésta escuela para enfocar su interés a la madera, elevándose con ello el número de profesionistas egresados de la misma, con la característica arriba señalada y difundir con ello las bondades del material tratado.

Además de las ventajas anteriores, la difusión de la madera como elemento estructural puede optimizar y mejorar su empleo aún en zonas donde ésta sea escasa, ya que mientras mayor sea la demanda, mayor será el número de aserraderos y plantas de tratamiento y por lo tanto, menores serán los costos de adquisición.

A ninguna persona le parece rentable invertir en un material poco conocido y mucho menos en uno que no posee características mecánicas necesarias para considerarse como elemento estructural; desgraciadamente en éste concepto se le tiene colocado a la madera. Se observó a lo largo del trabajo y en especial en el último capítulo que la madera, estructuralmente hablando, se comportó de una manera que se puede considerar como buena al soportar eficientemente las solicitaciones a las que está expuesta la estructura analizada. De lo anterior podemos concluir que la madera debe utilizarse, como el concreto ó el acero, en importantes obras de ingeniería, es decir, hacer ingeniería con un material con las bondades que posee la madera.



UNIVERSIDAD NACIONAL
 TESIS PROFESIONAL
 DETALLE DE UNIÓN
 PABLO GARCÍA J.

- Bibliografía -

- 1.- "Diseño y construcción de estructuras de madera", Normas Técnicas Complementarias del Reglamento para el D.F., - Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1977.
- 2.- Robles Fernández, Federico. "Estructuras de madera", 1a - preedición, México, Editorial Limusa, 1983.
- 3.- Borrego Badillo, Federico. "Construcción I y materiales", Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1974.
- 4.- Enciclopedia CEAC del delineante. "Materiales y elementos de construcción"; 3a edición, Barcelona, España, 1978.
- 5.- H.J. Hansen. "Diseño moderno de estructuras de madera", - CECSA, México, 1961.
- 6.- H.R. Clauser. "Diccionario de materiales y procesos de -- Ingeniería", Barcelona, España, editorial Labor, 1981.
- 7.- Ords. Asso, Félix. "Materiales de construcción", 7a edición editorial Dossat, Madrid, 1981.
- 8.- H. Parker. "Diseño simplificado de estructuras de madera" - editorial Limusa, México, 1975.
- 9.- Pérez Morales, Víctor, et al. "La madera y su uso en la --- construcción", INIREB, Jalapa, 1977.
- 10.- "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", versión de 1987.
- 11.- Meli Piralla, Roberto. "Diseño estructural", 1a edición, Limusa, 1985.
- 12.- "Testing small clear specimens of timber", British Standard Institution, Londres 1957.

- 13.- Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.14, Wiley Inter science, New York, 3rd ed., 1981.
- 14.- Bresler, Lin y Scalzi. "diseño de estructuras de acero", 2a edición, Limusa, 1976.
- 15.- "The strength properties of timber", MTP Construction, - England, 1974.
- 16.- "Manual de diseño de obras civiles", C.F.E., 1981.